



UNIVATES

UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI

CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

PROJETO E ELABORAÇÃO DE MAQUINA DE CORTE E DECAPAGEM DE CABOS ELÉTRICOS PARA USO EM PAINÉIS ELÉTRICOS

Alan Carlos Etgeton

Lajeado, dezembro de 2017

Alan Carlos Etgeton

**PROJETO E ELABORAÇÃO DE MÁQUINA DE CORTE E
DECAPAGEM DE CABOS ELÉTRICOS PARA USO EM
PAINÉIS ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Msc Henrique Worm

Lajeado, dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Reinaldo Etgeton, que me auxiliou constantemente na tomada de decisões e montagem mecânica do equipamento.

Ao professor Henrique Worm pelo apoio, compreensão e orientação segura.

A banca avaliadora, pelos ótimos apontamentos, melhorando a finalização do presente trabalho.

A minha família e amigos pelo constante incentivo, apoio e compreensão pelos momentos de ausência, em virtude da dedicação necessária para a realização deste trabalho.

Aos colegas de curso pelas dicas relevantes ao trabalho.

Aos funcionários da empresa pela colaboração no levantamento dos dados necessários para a viabilização do projeto.

E a todos os demais que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso objetiva o estudo e desenvolvimento de um equipamento automatizado para corte e decapagem de cabos elétricos utilizados em painéis elétricos de automação. A etapa de corte e decapagem estudada é parte do processo de montagem de painéis da empresa STW Soluções em Automação Ltda. A proposta deste trabalho contempla um sistema capaz de detectar a inserção do cabo, cortar o mesmo na dimensão programada e decapar as extremidades, para o número de cabos necessários. A identificação do cabo se dá através de um sensor ótico e a tração dos cabos se dá através de polias revestidas com borracha acopladas em motores de passo. Para o corte ou decapagem, um sistema de guilhotina é movimentado por outro motor de passo, sendo que os ajustes de medida são inseridos em uma tela e todos estes sensores e atuadores são controlados por uma placa Arduino. A implantação deste equipamento deve melhorar a condição de trabalho e a qualidade do produto fabricado, impactando também na redução de desperdícios gerados pelo corte manual dos cabos elétricos, além de redução do tempo necessário para esta tarefa.

Palavras-chave: Máquina de corte de cabos. Decapagem de cabos. Automação.

ABSTRACT

The present Work of Completion of Course aimed at the study and design of an automated equipment for cutting and stripping of electric cables used in automation panels. The process of cutting and stripping studied is part of the assembly process of panels of the company STW Soluções em Automação Ltda. A proposal of this work contemplated a system capable of detecting an insertion of the cable, cutting the same in the programmed dimension, stripping the wire ends and performing this task again and again. The identification is given through a sensor, a pull of the cables is given through rubber-coated pulleys coupled in step motors, for cutting or stripping a guillotine system is moved by another stepper motor, the measurement settings are inserted on a screen and all these sensors and actuators are controlled by an Arduino board. The implantation of this equipment is of more quality of the manufactured product, reduced of wastes generated by the manual cut of the electrical cables and reduced of the time necessary for the task.

Keywords: Wire cutting machine. Wire stripping. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Painéis elétricos montados na STW	11
Figura 2 – Construção do cabo isolado Corfio BDW 750V	14
Figura 3 – Princípio de funcionamento do sensor ótico	18
Figura 4– Sensor ótico por retrorreflexão.....	18
Figura 5 – Sensor ótico difuso	19
Figura 6 – Sensor ótico por barreira de luz	19
Figura 7 – Formas de construção do rotor	21
Figura 8 – Motores Bipolares e unipolares.....	22
Figura 9 – Modo de ligação e terminais do motor.....	23
Figura 10 – Comando por passo de um motor de passo bipolar	24
Figura 11 – Comando de passo completo de um motor de passo bipolar	24
Figura 12 – Comando meio passo de um motor de passo bipolar	24
Figura 13 – Arduino Uno R3	26
Figura 14 – Driver TB6600	26
Figura 15 – Exemplo de ligação do Driver TB6600 e Arduino	28
Figura 16 - Interface Nextion TFT 3,5”	28
Figura 17 – Máquina de corte CUTFOX 10.....	29
Figura 18 – Máquina de decapagem WF 1000.....	30
Figura 19 – Máquina de corte CUTFIX 8	31
Figura 20 – Máquina de decapagem POWERSTRIPPER 6,0.....	32
Figura 21 – Máquina automática para corte de cabos de Griffith.	33
Figura 22 – Cronograma de montagem de painéis	36
Figura 23 – Fluxo produtivo da empresa STW Soluções em Automação	37

Figura 24 – Alicates para corte de cabos.....	39
Figura 25 – Alicate Desencapador de Fios Automatico	39
Figura 26 – Corte de cabos manuais.....	40
Figura 27 – Resultado de decapagem excessiva.....	40
Figura 28 – Equipamento proposto	41
Figura 29 – Equipamento proposto	42
Figura 30 – Decapagem integral e parcial.	43
Figura 31 – Fluxo de funcionamento do equipamento	44
Figura 32 – Dimensões de decapagem total ou parcial	45
Figura 33 – Rolos de aço com ranhuras	47
Figura 34 – Mecanismo para tração do cabo.....	48
Figura 35 – Base articulada implementada.....	49
Figura 36 – Sistema de alavanca do sistema de guilhotina	49
Figura 37 – Mecanismo de corte	50
Figura 38 – Mecanismo de corte	51
Figura 39 – Controladores TB6600 do equipamento	52
Figura 40 – Sensor ótico H21A1	52
Figura 41 – Diagrama de ligação dos sensores óticos	53
Figura 42 – Sensor detectando a ausência de condutor	53
Figura 43 – Sensor detectando a presença de condutor.....	54
Figura 44 – Sensor de presença de condutor instalado.....	54
Figura 45 – Sensor de posicionamento da guilhotina.....	55
Figura 46 – Implementação dos sensores de posicionamento da guilhotina.....	55
Figura 47 – Interface de operação	56
Figura 48 – Fluxo de funcionamento da interface.....	57
Figura 49 – Tela para inserção de medida previamente cortada	59
Figura 50 – Local de instalação do controlador Arduino no equipamento	60
Figura 51 – Resultado do teste de repetitividade em modo sem decapagem	62
Figura 52 – Resultado do teste de repetitividade em modo sem decapagem	64
Figura 53 – Resultado do teste de repetitividade em modo sem decapagem	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões normatizadas dos cabos.....	15
Tabela 2 – Posição das chaves para seleção da divisão de passo	27
Tabela 3 – Posição das chaves para seleção da corrente de trabalho do motor.....	27
Tabela 4 – Teste de repetitividade do modo sem decapagem	63
Tabela 5 – Teste de repetitividade do modo com decapagem total	65
Tabela 6 – Teste de repetitividade do modo decapagem parcial	67
Tabela 7 – Teste de desempenho em velocidades variadas	68
Tabela 8 – Resultado da tomada de medidas.....	69
Tabela 9 – Custos do equipamento.....	71
Tabela 10 – Comparativo de valores de equipamentos	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	Cabos isolados	13
2.2	Automação de processos	15
2.3	Sensores	17
2.3.1	Sensores óticos	17
2.4	Motores de passo.....	20
2.4.1	Controlador de motor de passo	23
2.5	Arduino.....	25
2.5.1	Driver para motor de passo TB6600.....	26
2.5.2	Interface Nextion TFT 3.5”	28
2.6	Soluções de mercado.....	29
2.6.1	Phoenix Contact CUTFOX 10	29
2.6.2	Phoenix Contact WF 1000	30
2.6.3	Weidmüller CUTFIX 8	31
2.6.4	Widmüller POWERSTRIPPER 6,0.....	32
2.7	Solução baixo custo.....	33
2.7.1	Equipamento de Griffith.....	33
3	DESENVOLVIMENTO	35
3.1	A empresa	35

3.1.1	Processo de corte e decapagem de cabos elétricos	38
3.2	Equipamento proposto	41
3.3	Definição de componentes.....	46
3.3.1	O motor de passo	46
3.3.2	Controlador de motor de passo	51
3.3.3	O sensor óptico.....	52
3.3.4	A interface de ajuste	56
3.3.5	Controlador	60
4	RESULTADOS	61
4.1	Teste de repetitividade	62
4.1.1	Sem decapagem.....	62
4.1.2	Decapagem total.....	64
4.1.3	Decapagem parcial	66
4.2	Teste de velocidade	68
4.3	Teste de tomada de medida	68
4.1	Discussão dos resultados obtidos.....	70
4.2	Outros resultados.....	70
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXO I.....	77
	ANEXO II.....	78

1 INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul possui um grande número de indústrias, responsáveis por 27,5% do Produto Interno Bruto (PIB) estadual, as quais se desenvolveram a partir das agroindústrias e de outros segmentos ligados ao setor primário. Destacam-se as indústrias de transformação, alimentos, petroquímicas, máquinas, automobilísticas, implementos agrícolas, fertilizantes e de calçados (FRANCISCO, 2016).

A automação industrial tem papel fundamental para a cadeia produtiva em todos os setores da indústria. Tem como objetivo melhorar o sistema produtivo de forma que o controle das etapas de produção possa otimizar os gastos e os desperdícios (PORTAL EDUCAÇÃO, 2013).

As empresas interessadas em investir recursos na área da automação têm como objetivos: garantir uma maior produtividade; melhor flexibilidade do processo, possibilitando alteração na fabricação dos produtos; redução do esforço físico e mental dos colaboradores, simplificação dos processos de produção, melhoria da qualidade do produto final, maior capacidade tecnológica e executar tarefas que seriam impossíveis de realizar manualmente (SILVEIRA, 2014).

Em uma empresa de automação, uma das tarefas que mais demandam tempo na montagem de painéis elétricos é o corte e decapagem de cabos elétricos, tarefa normalmente executada manualmente na maioria das empresas do ramo (STW, 2017). Segundo Griffith (proprietário de uma patente de máquina de corte de cabos), uma máquina de corte de cabos tem o objetivo de facilitar o corte de cabos elétricos seriados, com estrutura robusta, mas fácil de utilizar.

Neste cenário, encontra-se a STW Soluções em Automação, empresa que atua no mercado de automação industrial desde 2006, desenvolvendo soluções para indústrias de diversos ramos. Devido à grande necessidade de montagem de painéis de automação, o corte e decapagem de cabos têm demandado grande tempo dos funcionários envolvidos, tornando esta uma etapa gargalo na linha de produção.

Os painéis de automação montados pela STW possuem, em média, 256 cabos com um padrão de comprimento, possibilitando o uso de uma máquina para a função de corte e decapagem. De acordo com dados fornecidos pela empresa, um colaborador leva em média 30 segundos para cortar e decapar as extremidades de um cabo para a colocação de um terminal, totalizando cerca de 2 horas e 6 minutos investidos nesta tarefa, para cada painel montado. O produto final fornecido pela empresa pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Painéis elétricos montados na STW



Fonte: Autor (2017)

Atualmente, vários fabricantes possuem equipamentos para a execução destas tarefas, porém estes equipamentos exigem um alto grau de investimento das empresas interessadas em adquiri-los. Em contrapartida, são apresentadas algumas soluções de baixo custo no mercado, mas que não contemplam todos os requisitos necessários a equipe de montagem da STW.

O presente trabalho descreve o projeto e desenvolvimento de uma máquina automatizada para realizar o processo de corte e decapagem de cabos elétricos, a qual se adapte às necessidades da STW Soluções em Automação. O equipamento desenvolvido proporciona corte e decapagem de cabos com seção de 0,5 mm² a 2,5 mm², com precisão e eficiência, reduzindo o tempo investido nessas etapas do processo e consequentemente, melhorando a qualidade de vida dos colaboradores que executam estas tarefa manualmente.

O equipamento conta com uma interface amigável, através da qual são realizadas todas as configurações necessárias. Após configurado, o equipamento opera automaticamente, registrando os dados produtivos para fins de análise posterior. Cabe salientar também objetivou-se o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, utilizando a plataforma Arduino para controle. Além disso, para a montagem mecânica, foram utilizados motores de passo, sensores e demais componentes facilmente encontrados em descarte de informática e algumas peças usinadas, garantindo a confiabilidade do equipamento.

O presente trabalho está dividido em capítulos. O Capítulo dois deste documento apresenta o referencial teórico para embasar os componentes do sistema proposto. O Capítulo três apresenta o cenário atual, a proposta deste trabalho e ainda o princípio de funcionamento do sistema proposto. O Capítulo quatro apresenta os resultados obtidos com o projeto após o desenvolvimento. Por fim, o Capítulo cinco apresenta a conclusão deste projeto, bem como sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a confecção do equipamento proposto, torna-se necessário o estudo do material a ser transformado e suas dimensões, benefícios da automatização na manipulação deste produto, sensores para a detecção e medição do comprimento, atuadores para a tração e corte, bem como uma forma de controle e interação com o usuário. Tais assuntos serão abordados nas seções a seguir, visando elucidar todos os pormenores do projeto.

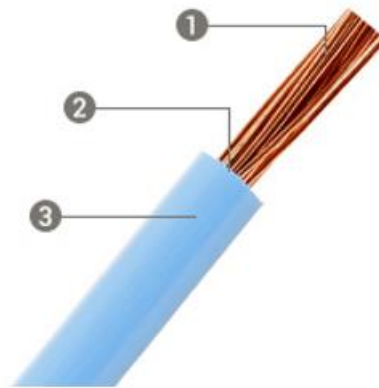
2.1 Cabos isolados

Segundo Mamede Filho (2010) e Corfio (2017), cabos isolados são condutores protegidos por uma camada isolante sem capa de proteção. A camada protetora é designada pelo valor nominal da tensão de fase que suportam. Os condutores utilizados em painéis de automação e comando devem possuir isolação de 450/750 V.

No Brasil e Mercosul, a norma em vigor para a confecção destes cabos é a NBR NM 247-3, que detalha as especificações particulares para condutores isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, informando como devem ser construídos, nomeados e demarcados. Indica também outras normas pertinentes, como procedimento para teste da isolação, teste de esforços e combinação de cores que podem ser fabricados (ABNT, 2002).

A linha de cabos flexíveis BDW 750V da marca Corfio segue as exigências da norma e sua construção é demonstrada na Figura 2 como exemplo.

Figura 2 – Construção do cabo isolado Corfio BDW 750V



Fonte: Corfio (2017)

Legenda:

1. Condutor flexível de cobre nu encordoamento classe 4 ou classe 5.
2. Isolação de PVC/A 70°C - composto termoplástico extrudado à base de PVC, com características especiais para não propagação e autoextinção do fogo.
3. Isolação de PVC/A 70°C - composto termoplástico extrudado à base de PVC, com características especiais para não propagação e autoextinção do fogo. Nas seções 0,5 a 10 mm² possui características para facilitar o deslizamento dos condutores em calhas.

Conforme item 3.3.2 (Isolação) e item 3.3.3 (Diâmetro Externo), da norma NBR NM 247-3, os fabricantes devem seguir as dimensões da Tabela 3 presente na norma. A Tabela 1 apresenta uma adaptação da tabela para a faixa de condutores utilizada na confecção do equipamento proposto neste trabalho.

Tabela 1 – Dimensões normalizadas dos cabos

Seção nominal do condutor mm ²	Espessura da isolamento mm	Diâmetro externo médio	
		Limite inferior mm	Limite superior mm
0,5	0,6	2,1	2,5
0,75	0,6	2,2	2,7
1	0,6	2,4	2,8
1,5	0,7	2,8	3,4
2	0,8	3,2	4,0
2,5	0,8	3,4	4,1

Fonte: Autor, adaptado de NBR NM 247-3 (2002).

Como o projeto do equipamento proposto tem como objetivo o corte de cabos de até 2,5 mm², a abertura da ferramenta de corte deve ter no mínimo quatro milímetros, que é o diâmetro externo do condutor citado.

2.2 Automação de processos

De acordo com Gonçalves (2000), processos são atividades que possuem entrada de materiais ou informações, transformam esta matéria prima com a adição de recursos da empresa, seja através de uma máquina de transformação ou um colaborador que executa uma tarefa, para um processo ou cliente interessado no produto final.

Monteiro (2012) comenta que uma das ações básicas para manter uma empresa competitiva consiste em produzir mais com menos recursos, sem diminuir a qualidade exigida pelo cliente. A automação em processos vem tornando as empresas mais competitivas, pois fornece dados estatísticos a gestores que avaliam as atividades realizadas de suas empresas.

Em qualquer outro lugar que demande produção de algum bem, os benefícios da automação industrial podem ser considerados ilimitados, pois ao automatizar um processo, é possível aumentar significativamente o seu desempenho em todos os seus aspectos. Este motivo, por si só, já é um grande responsável por fazer com que a automação industrial seja cada vez mais popular em todo o mundo (SILVEIRA, 2014).

Equipamentos automatizados têm proporcionando um ganho na qualidade, oferecendo melhores preços para os consumidores. Os recursos antes destinados a tarefa automatizada

serão empregados em outros processos de melhoria, reduzindo o valor de produto final e tornando a empresa cada vez mais competitiva. (ARAUJO J., CHAGAS, 2003).

São muitas as vantagens da automação de um processo, sendo as mais citadas pelos autores mencionados:

- a) **Aumento de produtividade:** Com a substituição de trabalhos manuais por máquinas automáticas. Além de não necessitarem de operação, podem executar as tarefas em maior velocidade e precisão.
- b) **Melhoria de qualidade do produto final:** O trabalho repetitivo exercido por trabalhadores em ritmo acelerado pode resultar em produtos diferentes que, para serem aceitos, necessitam de grande margem de tolerância. Equipamentos automatizados, após serem programados, executarão incansavelmente a mesma tarefa com mais eficiência e qualidade.
- c) **Redução de custos:** A execução de tarefas por máquinas diminui o desperdício, reduzindo as chances de produtos recusados por inconformidades. Este é o principal fator na redução do custo. A diminuição de recursos humanos também impacta nos custos, contudo não há a retirada de mão de obra por completo, pois máquinas necessitam de configurações e manutenções que devem ser executadas por profissional treinado.
- d) **Segurança aos empregados:** Com a retirada de recursos humanos de tarefas perigosas, o ganho para empresas é incalculável, mas a automação pode proporcionar ainda mais segurança.
- e) **Competitividade:** Com o aumento da produção, diminuição dos custos e maior qualidade, a empresa fica cada vez mais competitiva, aumentando os recursos financeiros e os reinvestindo em novos produtos ou processo para se tornar ainda melhor.
- f) **Capacidade de monitoramento, controle e auxílio na tomada de decisão:** Com sensores monitorando variáveis críticas do processo de uma empresa, é possível armazenar essas informações em bancos de dados que, quando manipulados pela gerência da empresa, auxiliarão na tomada de decisões, diminuindo os riscos e garantindo maior controle das operações.

Entretanto, para a confecção do equipamento proposto neste trabalho, é necessário elucidar a teoria envolvida nos componentes que serão utilizados para esta finalidade. Desta forma, as seções a seguir apresentam tais componentes.

2.3 Sensores

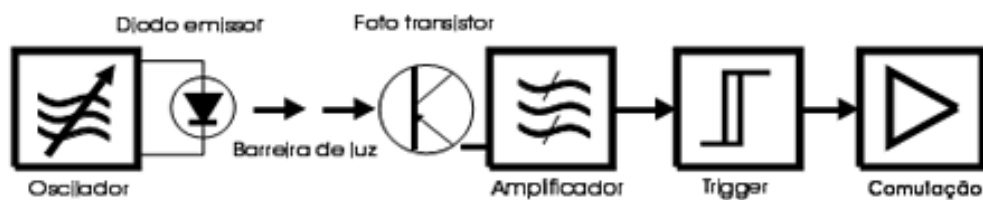
Sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando a mesma com uma grandeza física desejada, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração ou posição. Estes estímulos, por muitas vezes, necessitam de um tratamento que os converta para um sinal analógico ou digital e, assim, possibilite a conexão em controladores ou dispositivos eletrônicos. (WENDLING, 2010) e (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2007).

Para o presente trabalho, existe a necessidade de detecção da inserção do cabo elétrico no equipamento, através de um sensor digital. Seu funcionamento é explicado na seção a seguir.

2.3.1 Sensores óticos

O princípio de funcionamento é baseado na interação entre um transmissor de luz e um receptor. O sinal de luz emitido pelo diodo emissor deve sensibilizar o receptor (foto transistor) com intensidade suficiente para que os contatos sejam comutados. Para evitar interferências de outras fontes de luminosidade, os emissores são acionados a uma frequência conhecida pelo analisador incorporado no receptor e, assim, o mesmo comanda o estágio de saída (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2007). Tal fluxo está representado na Figura 3.

Figura 3 – Princípio de funcionamento do sensor ótico

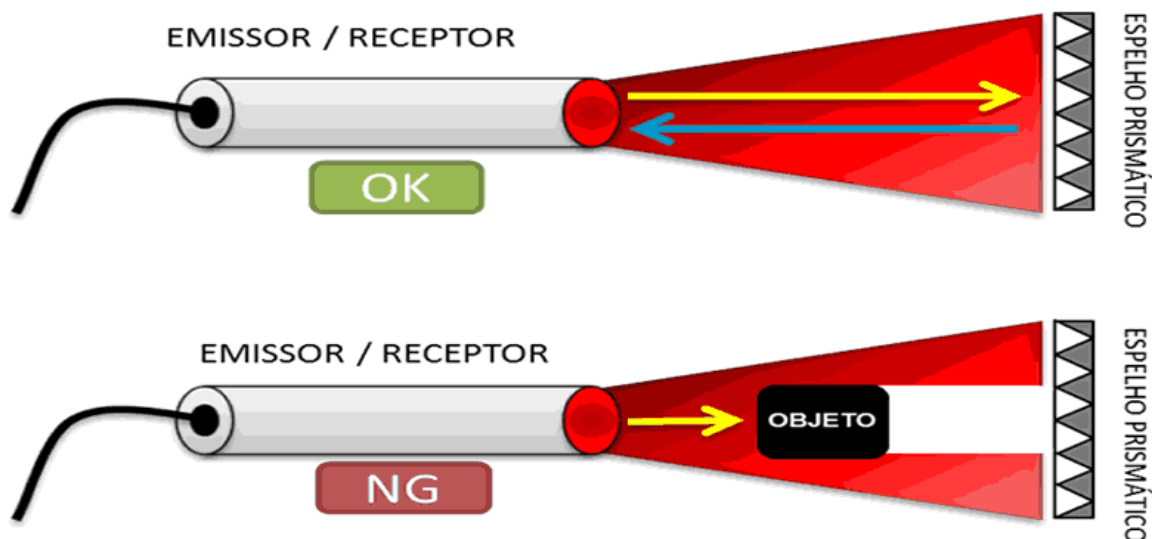


Fonte: Mecaweb (2017).

Este tipo de sensor pode ser empregado de diversas formas, o que também influencia na forma de construção:

a) **Retroreflexão:** Emissor e Receptor montados em um mesmo corpo. O feixe luminoso é estabelecido entre ambos por intermédio de um refletor, como apresenta a Figura 4. Este sensor é ativado quando um objeto interrompe o feixe de luz. Este tipo de sensor não é aconselhado para a detecção de objetos claros, transparentes ou brilhantes, pois acabam refletindo o feixe com muita intensidade, da mesma forma que o elemento refletor.

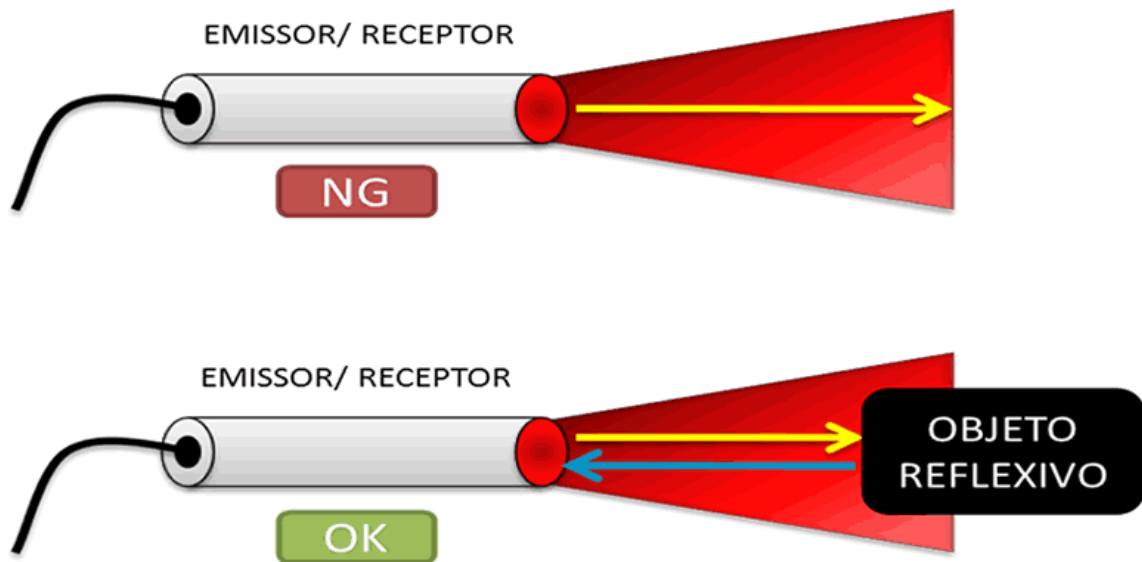
Figura 4– Sensor ótico por retroreflexão



Fonte: Silveira (2017).

b) **Difuso:** Nesta forma de utilização, o emissor e o receptor também são montados no mesmo corpo, porém a luz é refletida de forma difusa pelo próprio objeto passante. A luz emitida pelo emissor cria uma região em que, se houver a presença de algum objeto, o mesmo reflete o feixe luminoso em direção ao receptor. A Figura 5 apresenta o princípio de funcionamento de um sensor difuso.

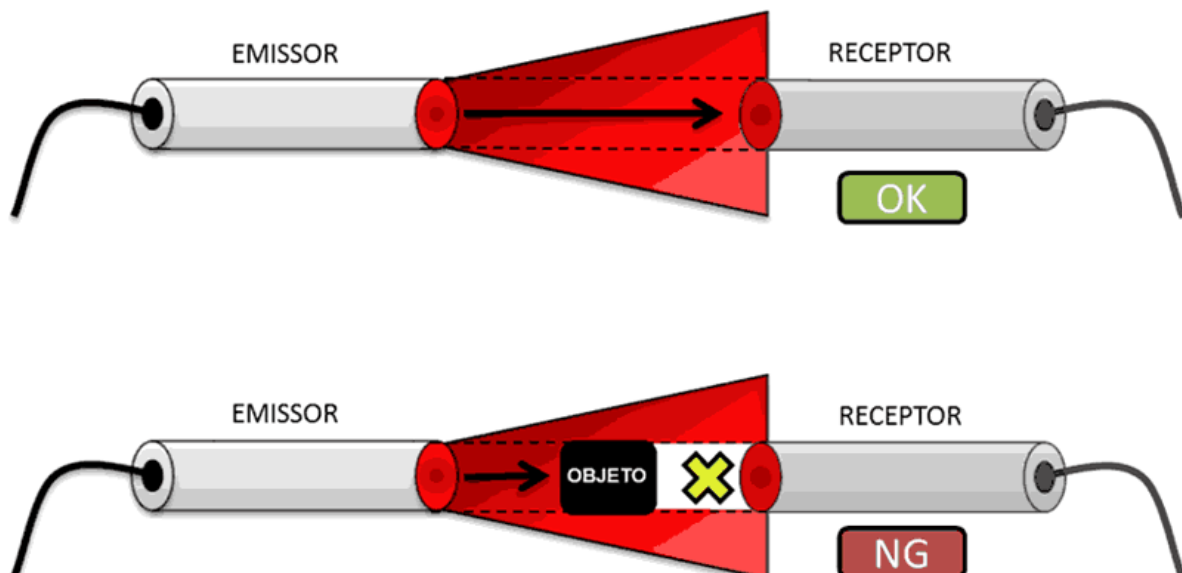
Figura 5 – Sensor ótico difuso



Fonte: Silveira (2017).

c) **Barreira de luz:** O sensor ótico por barreira possui o emissor e receptor montados em corpos separados. O emissor e receptor são alinhados, criando uma barreira de luz entre ambos que, se interrompida, faz com que o sensor seja ativado (Figura 6).

Figura 6 – Sensor ótico por barreira de luz



Fonte: Silveira (2017).

2.4 Motores de passo

Motores de passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos angulares de um eixo. Estes movimentos angulares são chamados de “passos”. A velocidade, sentido de rotação e ângulo de rotação estão diretamente ligados ao sistema de controle do motor. A velocidade é consequência da frequência de oscilação dos pulsos e o sentido de rotação está relacionado a sequência de ligação dos terminais do motor. Já o ângulo de rotação é definido pelas diferentes formas de acionamento das bobinas no interior do motor (BRITES e SANTOS, 2008).

Ainda segundo os autores, motores de passo são utilizados em aplicações que necessitem de controle preciso de velocidade, controle do ângulo de rotação, posição e sincronismo. Não possui como características torque elevado e alta velocidade, mas possibilita o controle de seus movimentos de forma precisa e que, se bem dimensionados, não necessitam de sensores de posição, possibilitando acionamento em malha aberta (sistemas que não necessitam de confirmação de movimentação/alteração de estado).

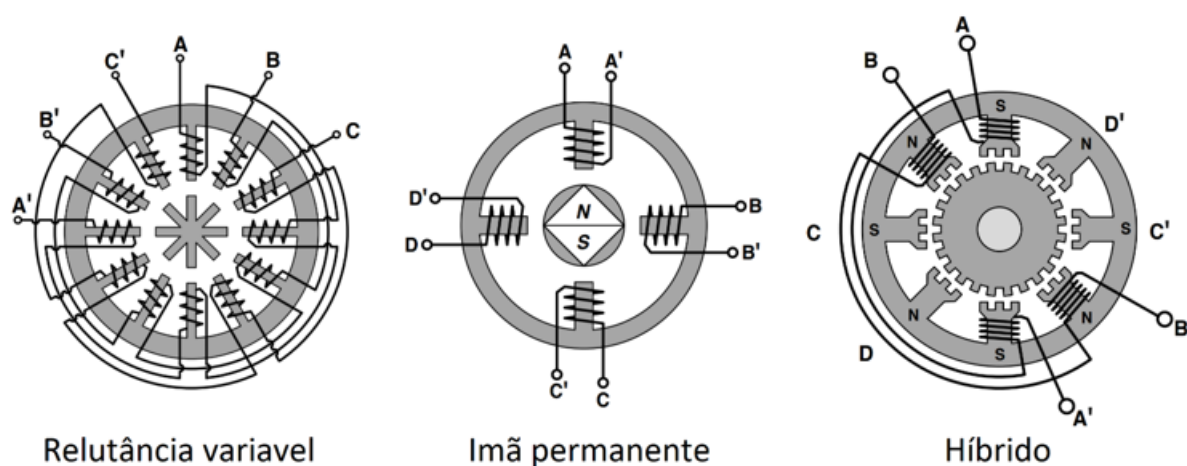
Segundo Constantinou (2003), Brites e Santos (2008) e Microchip (2004), os motores de passo são muito utilizados em aplicações de controle de medida, pois possuem vários recursos que os tornam ideais para esse tipo de aplicações. Esses recursos são os seguintes:

- a) **Sem escovas:** Os motores de passo não necessitam de escovas. O comutador de escovas de motores convencionais é um dos componentes mais propensos a falhas, além de criar arcos elétricos que são indesejáveis e perigosos para alguns circuitos eletrônicos.
- b) **Velocidade fixa independente da carga:** Os motores de passo terão velocidade comandada pelo circuito de controle e a mesma ficará fixa independentemente da carga, desde que a carga não exceda a taxa de torque para o motor.
- c) **Posicionamento sem o uso de sensores:** Os motores de passo se movem em incrementos de passos ou passos parciais. Enquanto o motor operar dentro de sua especificação de torque, a posição do eixo é conhecida em todos os momentos sem a necessidade de um mecanismo de realimentação.

- d) **Retenção do eixo:** Os motores de passo são capazes de manter o eixo retido em uma posição.
- e) **Capacidade para iniciar e parar movimentos em qualquer direção.**

Os autores também afirmam que os motores de passo podem ser divididos em três tipos de rotor: ímã permanente, relutância variável e híbrido. Motores de ímã permanente têm um rotor em formato circular uniforme sendo também magnetizado, enquanto motores de relutância variável são construídos com ponto salientes em seu rotor de ferro. Motores de passo híbridos combinam aspectos da tecnologia de ímãs permanentes e relutância variável. As diferenças na construção estão demonstradas na Figura 7.

Figura 7 – Formas de construção do rotor



Fonte: Constandinou (2003)

Constandinou (2003) afirma que motores de relutância variável são utilizados em aplicações que não exijam grande torque, pois em sua construção não são utilizados ímãs permanentes (fluxo magnético constante). Consequentemente, o eixo gira livremente sem restrição.

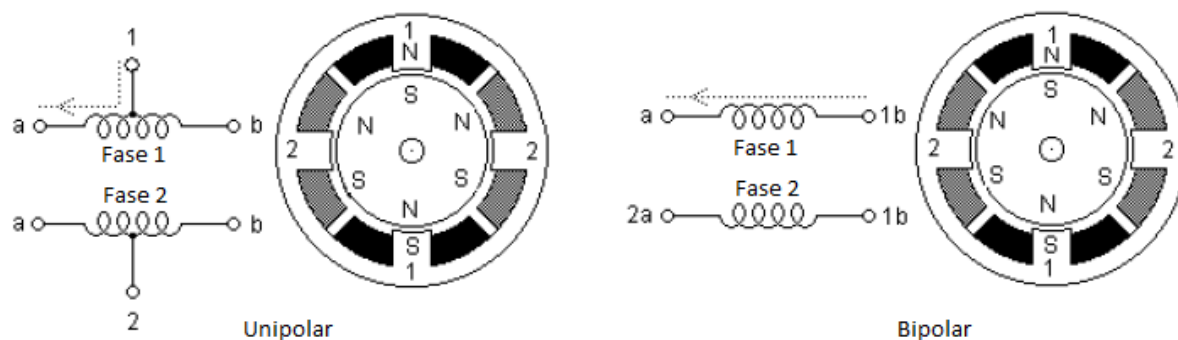
Já motores de ímã permanentes possuem baixa velocidade de rotação, devido ao grande fluxo magnético gerado pelo ímã. Entretanto, possui maior torque, quando comparado ao de relutância variável e grandes passos angulares (de 7,5 a 15° com 48 a 2 passos por revolução). Mas, pela simplicidade de construção, são os mais acessíveis no mercado (BRITES e SANTOS, 2008 e CONSTANTINOU, 2003).

Por fim, motores híbridos são os mais utilizados em aplicações industriais devido ao alto torque estático e dinâmico, além da possibilidade de girar em pequenos passos ($0,9^\circ$, $1,8^\circ$ ou $3,6^\circ$) (CONSTANTINOU, 2003).

Microchip (2004) e Constandinou (2003) citam que esses dispositivos são construídos, em geral, com dois fluxos magnéticos diferentes que, quando alternados em certa ordem, têm como consequência a rotação do eixo. Estes fluxos magnéticos diferentes são chamados de fases.

Existem variações na montagem das bobinas de geração de fluxo magnético, os classificando como unipolares ou bipolares. Motores unipolares possuem dois enrolamentos de bobinas por fase, para facilitar a inversão da corrente necessária no controle. Já motores bipolares possuem apenas um enrolamento por fase (Brites e Santos, 2008). A Figura 8 apresenta os métodos de bobinado, expondo que não há alterações no rotor entre os métodos.

Figura 8 – Motores Bipolares e unipolares

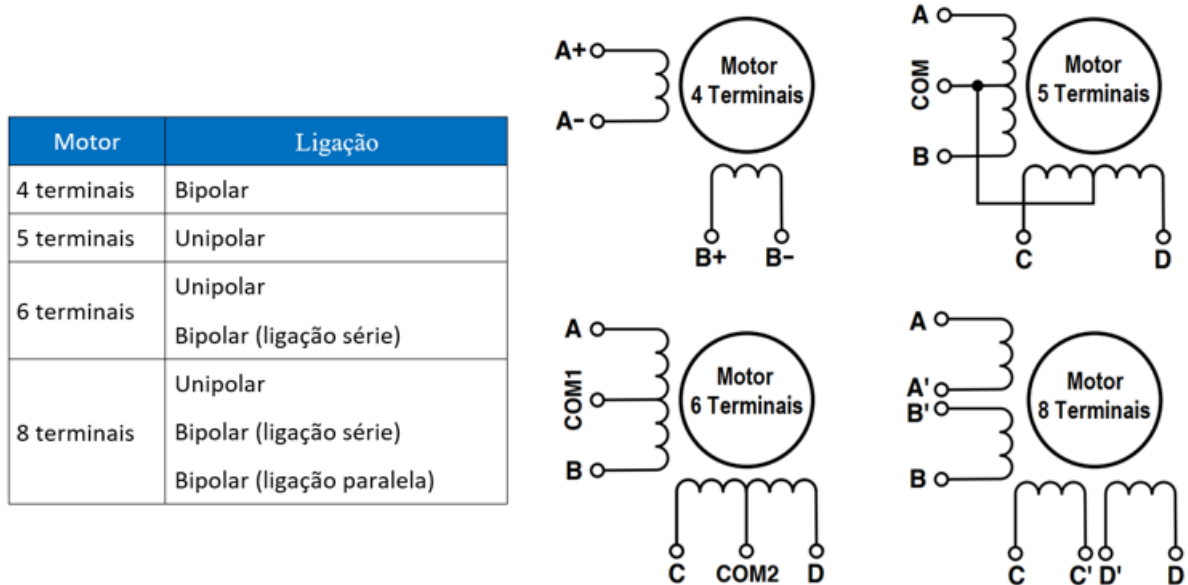


Fonte: Autor, adaptado de Microchip (2004)

As bobinas são expostas para o usuário através de terminais de ligação, proporcionando diferentes ligações para controle. Com os terminais de controle de um motor unipolar é possível controlá-lo como um motor bipolar, aplicando a tensão e corrente adequada apenas nos terminais A e B (sem utilizar o terminal do centro a bobina) das respectivas fases. (BRITES e SANTOS, 2008 e CONSTANTINOU, 2003).

Os terminais e formatos de ligação são demonstrados na tabela e diagramas expostos na Figura 9.

Figura 9 – Modo de ligação e terminais do motor



Fonte: Constandinou (2003)

As seções a seguir discutem quais os circuitos são necessários para conduzir esses motores e como controlar motores de passo com um microcontrolador.

2.4.1 Controlador de motor de passo

Segundo os autores consultados, os motores de passo podem ser controlados de diversas formas, sendo as mais comuns:

- Comando por passo:** Cada bobina é ligada individualmente. Isso significa que, em um motor bipolar, 50% dos enrolamentos são utilizados ao mesmo tempo e, no caso dos unipolares, 25%. A sequência de acionamento de bobinas para um motor bipolar está representada na Figura 10. As Fases A' e B' correspondem a passagem de corrente nas respectivas bobinas, mas com sentido contrário.

Figura 10 – Comando por passo de um motor de passo bipolar

Ordem	Fase A	Fase B	Fase A'	Fase B'
1				
2				
3				
4				

Fonte: Constandinou (2003)

b) **Comando de passo completo:** Neste modo, duas bobinas são excitadas ao mesmo tempo. Desta forma, o torque é aumentado se comparado ao método de ligação de comando por passo. A Figura 11 demonstra a sequência de acionamento de bobinas.

Figura 11 – Comando de passo completo de um motor de passo bipolar

Ordem	Fase A	Fase B	Fase A'	Fase B'
1				
2				
3				
4				

Fonte: Constandinou (2003)

c) **Comando por meio passo:** Este modo de comando é uma junção dos dois modos anteriores, gerando como consequência a possibilidade de giro de meio passo, dividindo o ângulo de passo em dois estágios. A Figura 12 representa o ciclo de acionamento das bobinas.

Figura 12 – Comando meio passo de um motor de passo bipolar

Ordem	Fase A	Fase B	Fase A'	Fase B'
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Fonte: Constandinou (2003)

Com base nessas informações, constata-se a necessidade de um circuito para controle do acionamento das bobinas de um Motor de Passo, indiferente do método adotado. Para tanto, a seção a seguir apresenta uma solução de controlador, a qual será utilizada neste trabalho.

2.5 Arduino

De acordo com o fabricante (ARDUINO, 2017), o Arduino é uma plataforma de prototipagem de código aberto baseada em hardware e software que objetivam facilidade de uso. O programa utilizado para escrever as funções para o microcontrolador é compatível com os sistemas operacionais Windows, Linux e MAC. Com interface amigável, o programador escreve suas funções em linguagem Arduino (baseada em *Wiring*), testa a compatibilidade das funções e rapidamente consegue enviar o código para o *chip* utilizando comunicação USB (*Universal Serial Bus*).

As placas Arduino são projetadas para serem auxiliadas com pequenas placas de circuito impresso que são chamadas de “*Shields*”, que permitem ao Arduino obter grandezas físicas como distancia, luminosidade, posição de objetos, etc. Estes sinais são processados e transformados em saídas, podendo acionar um motor, acender uma luz, publicar conteúdo on-line ou desencadear eventos externos.

Existem diversos modelos de placas Arduino, com variadas especificações técnicas. Um dos modelos básicos é a placa Arduino Uno R3, que é baseada no microprocessador ATmega328P e possui 14 entradas/saídas digitais e 6 entradas analógicas. Além disso, possui uma conexão USB para comunicação com o computador, opera com um cristal de quartzo de 16 MHz e tem uma tensão de operação de 5V. A Figura 13 apresenta uma imagem da placa Arduino Uno.

Figura 13 – Arduino Uno R3



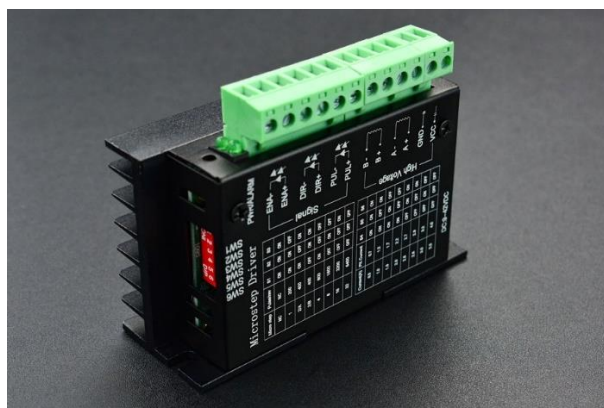
Fonte: RoboCore (2016).

Tendo em vista que um dos requisitos deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de baixo custo, o Arduino é uma solução cabível. Entretanto, será necessária a utilização de alguns periféricos para contemplar diversas funções do sistema, conforme as seções a seguir.

2.5.1 Driver para motor de passo TB6600

Este periférico tem como componente principal o TB6600HG, chip fabricado pela Toshiba que proporciona ao microcontrolador o comando de motores de passo com ligação bipolar com tensões de 9 a 42 V e corrente de aproximadamente 4 A. Outra vantagem é a proteção contra superaquecimento (fixa em 85 °C), a possibilidade de configuração de divisão de passos e ajuste de sobrecarga selecionáveis através da ligação de chaves posicionadas na lateral do dispositivo (TOSHIBA, 2016). Na Figura 14 está demonstrado o driver.

Figura 14 – Driver TB6600



Fonte: DFRobot (2017)

Na face lateral do periférico é apresentada uma breve descrição da função de cada pino, juntamente com duas tabelas que expõem as configurações de seis chaves de ajuste para a correta seleção de divisão de passo e corrente de trabalho do motor. As Tabelas Tabela 2 e Tabela 3 demonstram as possibilidades de ajuste (DFROBOT, 2017).

Tabela 2 – Posição das chaves para seleção da divisão de passo

Divisão do passo	Pulsos para uma volta completa	Chave 1	Chave 2	Chave 3
Sem função	Sem função	Ligada	Ligada	Ligada
1	200	Ligada	Ligada	Desligada
1/2	400	Ligada	Desligada	Ligada
1/2	400	Desligada	Ligada	Ligada
1/4	800	Ligada	Desligada	Desligada
1/8	1600	Desligada	Ligada	Desligada
1/16	3200	Desligada	Desligada	Ligada
1/32	6400	Desligada	Desligada	Desligada

Fonte: Autor, adaptado de DFRobot (2017).

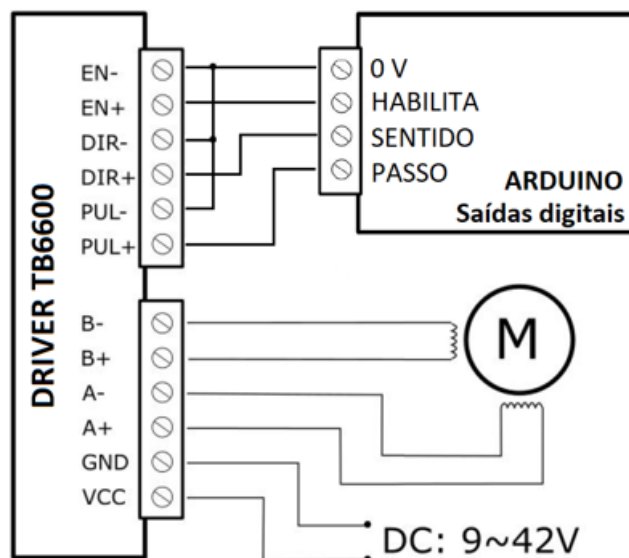
Tabela 3 – Posição das chaves para seleção da corrente de trabalho do motor

Corrente nominal do motor (A)	Pico de corrente suportado (A)	Chave 4	Chave 5	Chave 6
0,5	0,7	Ligada	Ligada	Ligada
1,0	1,2	Ligada	Ligada	Desligada
1,5	1,7	Ligada	Desligada	Ligada
2,0	2,2	Desligada	Ligada	Ligada
2,5	2,7	Ligada	Desligada	Desligada
2,8	2,9	Desligada	Ligada	Desligada
3,0	3,2	Desligada	Desligada	Ligada
3,5	4,0	Desligada	Desligada	Desligada

Fonte: Autor, adaptado de DFRobot (2017).

O microcontrolador Arduino deve ser conectado ao controlador TB6600 através dos bornes de comando com tensão de 5 V. As saídas digitais conectadas ao driver têm a função de habilitar o funcionamento do mesmo, definir o sentido de giro e a frequência passos. Na Figura 15 está demonstrado o diagrama de ligação deste shield a uma placa Arduino (DFROBOT, 2015).

Figura 15 – Exemplo de ligação do Driver TB6600 e Arduino



Fonte: Autor, adaptado de DFRobot (2017).

2.5.2 Interface Nextion TFT 3.5"

Com o intuito de interação com o sistema proposto, é necessário o uso de uma Interface Homem Máquina (IHM). Um dos modelos comerciais, de baixo custo, é a Nextion TFT 3.5", fabricada pela Itead (Figura 16). Este sistema de interface utiliza uma tela de LCD colorida sensível ao toque a qual fornece também o programa para a elaboração das telas.

A comunicação serial (pinos 0 e 1 do Arduino UNO) e a alimentação 5 V da interface com Arduino, ocupam poucos terminais do microcontrolador, tornando-a ideal para projetos de baixo custo. (OPENHARDWARE, 2017 e ITEAD, 2017).

Figura 16 - Interface Nextion TFT 3,5"



Fonte: Itead (2017)

2.6 Soluções de mercado

Fabricantes como Phoenix Contact e Weidmüller possuem em sua linha de produtos equipamentos automáticos para corte de cabos e para a decapagem de terminais, vendidos separadamente. A seguir estão descritas as funções que cada equipamento possui e o valor atual de mercado.

2.6.1 Phoenix Contact CUTFOX 10

Com possibilidade de corte de cabos de 0,25 a 10 mm², sem a necessidade de configuração devido a troca de cabos, resta ao usuário apenas o ajuste de comprimento e quantidade, sendo feita em interface amigável incorporado ao equipamento (PHOENIX, 2017).

Conforme a fabricante, para a introdução do condutor é preciso apenas abrir a tampa frontal, como pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Máquina de corte CUTFOX 10



Fonte: Phoenix (2017)

Este equipamento possui valor comercial de R\$ 18.637,27 (PHOENIX, 2017), conforme orçamento apresentado em Anexo I, substituindo apenas a mão de obra do corte de cabos, sendo que, para a decapagem dos terminais do cabo é necessária a compra do próximo equipamento.

2.6.2 Phoenix Contact WF 1000

Equipamento fabricado pela Phoenix Contact com capacidade de decapagem de cabos de até 6 mm², chegando a 0,3 segundos por terminal. A compacta WF 1000 pode decapar cabos de PVC até com isolamento de teflon, devido ao ajuste automático sensível da força de prensagem em função da força de corte (PHOENIX, 2017).

De acordo com a fabricante, a interface de ajuste é intuitiva, sendo as medidas de decapagem ajustadas através de três botões giratórios que podem ser observados na Figura 18.

Figura 18 – Máquina de decapagem WF 1000



Fonte: Phoenix (2017)

Este equipamento é encontrado em representantes da marca e pode ser adquirido no valor de R\$ 19.286,92 (PHOENIX, 2017), conforme orçamento em Anexo I. Somando com o equipamento anterior, o investimento para uma empresa de automação seria da ordem de R\$ 36.000,00 reais, além do fato de possuir dois equipamentos para a realização das tarefas específicas de corte e decapagem.

2.6.3 Weidmüller CUTFIX 8

Este equipamento tem capacidade de corte de condutores sólidos e flexíveis com seção máxima de 2,5 mm² e 10 mm² respectivamente. Não utiliza motores de passo, mas servomotores controlados por um microcontrolador que também é interligado a uma interface de operação onde o usuário pode efetuar os ajustes do equipamento, ou se preferir, também pode efetuar os ajustes em um computador e transferir os dados utilizando uma porta USB (WEIDMÜLLER, 2017).

A Figura 19 apresenta a máquina de corte CUTFIX 8.

Figura 19 – Máquina de corte CUTFIX 8



Fonte: Weidmüller (2017)

A CUTFIX 8 pode ser adquirida por empresas montadoras de painéis no valor de R\$ 13.536,00 (WEIDMÜLLER, 2017), o orçamento pode ser visualizado em Anexo II. Da mesma forma como a Phoenix, a Weidmüller comercializa separadamente a máquina de decapagem de cabos, conforme seção a seguir.

2.6.4 Widmüller POWERSTRIPPER 6,0

Proporciona a decapagem de cabos elétricos com seção de 0,5 a 6 mm² em 0,5 segundo por extremidade, sem a necessidade de troca de ferramenta. Efetua decapagens completas ou parciais, de até 20 mm, conforme a necessidade, sendo configurada em botões de giro, demonstrando as alterações em uma tela, que pode ser verificada na Figura 20 (WEIDMÜLLER, 2017).

Figura 20 – Máquina de decapagem POWERSTRIPPER 6,0



Fonte: Widmüller (2017)

Este equipamento é oferecido a empresas de automação no valor de R\$8.640,00. Da mesma forma como a solução da Phoenix, os equipamentos da Widmüller totalizariam um investimento de R\$ 22.176,00 (WINMÜLLER, 2017), o orçamento pode ser visualizado em Anexo II, necessitando de dois equipamentos para a realização das funções específicas de corte e decapagem dos cabos.

Como pode ser observado, o valor dos equipamentos disponíveis no mercado para a função de corte e decapagem tem um custo elevado para empresas que buscam diminuir o tempo na montagem de painéis.

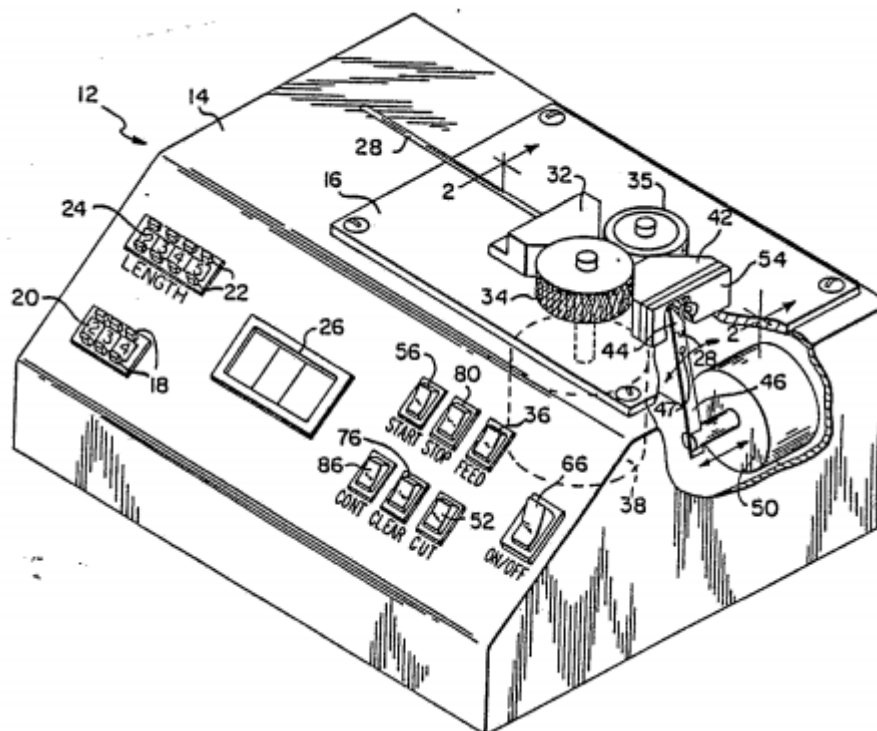
2.7 Solução baixo custo

Devido aos altos custos de equipamentos que exercem a função de corte e/ou decapagem, empresas e interessados começaram a desenvolver equipamentos semelhantes, mas com o custo reduzido. Um destes equipamentos é descrito no item a seguir.

2.7.1 Equipamento de Griffith

Com o objetivo de desenvolver uma máquina de baixo custo, Griffith elaborou e patenteou um equipamento que tinha a função de cortar cabos de acordo com uma medida pré-programada, mas sem contemplar a decapagem das extremidades. Seu funcionamento é baseado no controle de um motor de passo que traciona o cabo a ser cortado e, no momento que atinge o número de passos programado, um sistema de guilhotina é acionado. A máquina patenteada está representada na Figura 21.

Figura 21 – Máquina automática para corte de cabos de Griffith.



Fonte: Griffith (1984).

A máquina de corte de cabos inventada por Griffith traciona cabos elétricos com duas polias revestidas por um material macio para dar aderência ao material. Uma das polias é tensionada contra a outra através de uma mola tensionadora. A outra polia é conectada ao eixo de um motor de passo que é controlado por um circuito digital capaz de tracionar o cabo de acordo a medida programada em milímetros ou polegadas. Ao encerrar o processo de tração do cabo, o sistema de guilhotina é acionado, cortando o cabo.

O equipamento proposto por Griffith possui montagem simples, possibilitando a construção de uma máquina de baixo custo. No entanto, o mesmo é capaz de proporcionar apenas o corte de cabos e não a decapagem das extremidades.

Com base nas informações mencionadas no Referencial Teórico, partiu-se para a elaboração do projeto proposto neste trabalho, conforme descrito no capítulo a seguir.

3 DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho objetivou o projeto e desenvolvimento de uma máquina automatizada para realizar o processo de corte e decapagem de cabos elétricos, a qual se adapte às necessidades da STW Soluções em Automação. Para tanto, a seção a seguir apresenta a empresa alvo deste projeto, tendo em vista que as necessidades apresentadas pelo setor de montagem de painéis de automação é fator determinante para a elaboração do projeto.

3.1 A empresa

Localizada na cidade de Lajeado/RS, no Vale do Taquari, a empresa STW Soluções em Automação está em constante pesquisa por novas soluções de engenharia, visando sempre à necessidade e bem-estar do cliente. Inicialmente focados para soluções de software, percebeu-se ao longo do tempo a necessidade de atuação no desenvolvimento de projetos elétricos, atuando em diversos segmentos, tais como: agroindustrial, metalmecânico, alimentício, fumageiro, automobilístico, químico, entre outros.

A empresa conta com aproximadamente 80 funcionários, sendo que 70 destes estão diretamente ligados à área técnica. Deste total, 62% dos colaboradores estão envolvidos ou são responsáveis pela montagem de painéis de comando e instalação destes nas plantas fabris.

O setor de montagem de painéis elétricos é dividido em três etapas. A montagem mecânica, primeira delas, onde são montados todos os componentes de fixação e dispositivos para acomodação de cabos elétricos (canaletas) de acordo com projeto mecânico pré-aprovado com o cliente. Antes do painel ser deslocado para a próxima etapa, todos os componentes

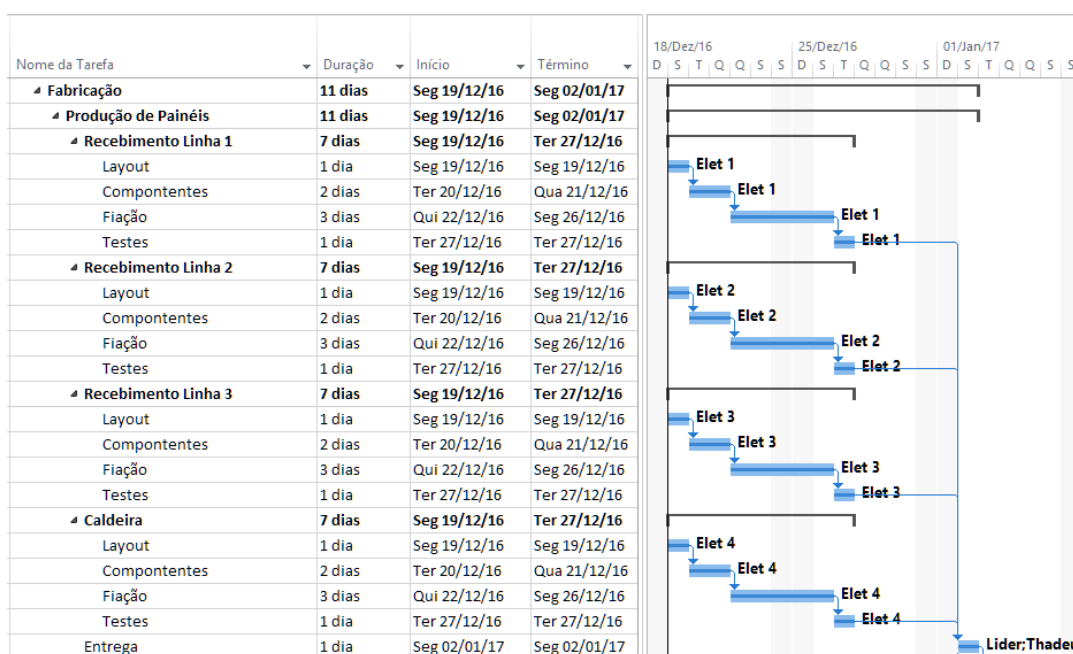
elétricos são colocados nos locais respectivos. Em média, os painéis de automação permanecem neste setor por cerca de 8 h, envolvendo dois colaboradores treinados para a tarefa.

Ao colocar todos os componentes elétricos na placa de montagem, o painel pode ser transferido para a etapa de fiação elétrica. Nesta etapa, os colaboradores lêem o diagrama elétrico fornecido pela equipe de projetistas e executam as ligações necessárias com cabos elétricos na cor, seção e identificação descritas nos documentos ou padrões da empresa. Em projetos de automação, é comum a prática de medir a distância de uma ligação e replicar a mesma para outros pontos próximos, acelerando o processo de corte de cabos. O tempo estimado para esta etapa é de 32 h, com a necessidade de dois colaboradores.

Quando todas as ligações elétricas foram feitas e conferidas, o painel está pronto para ser levado para a etapa de acabamento, onde as canaletas são fechadas, a placa é presa ao chassi do painel e são colados os adesivos necessários para a identificação do mesmo. Para esta tarefa são alocados dois colaboradores por um período de cerca de 8 h.

O controle de produção é feito através de um cronograma, que inicia com a data final de envio para o cliente, define os prazos estipulados para cada etapa e o número de colaboradores necessários para atender a demanda, como pode ser observado na Figura 22.

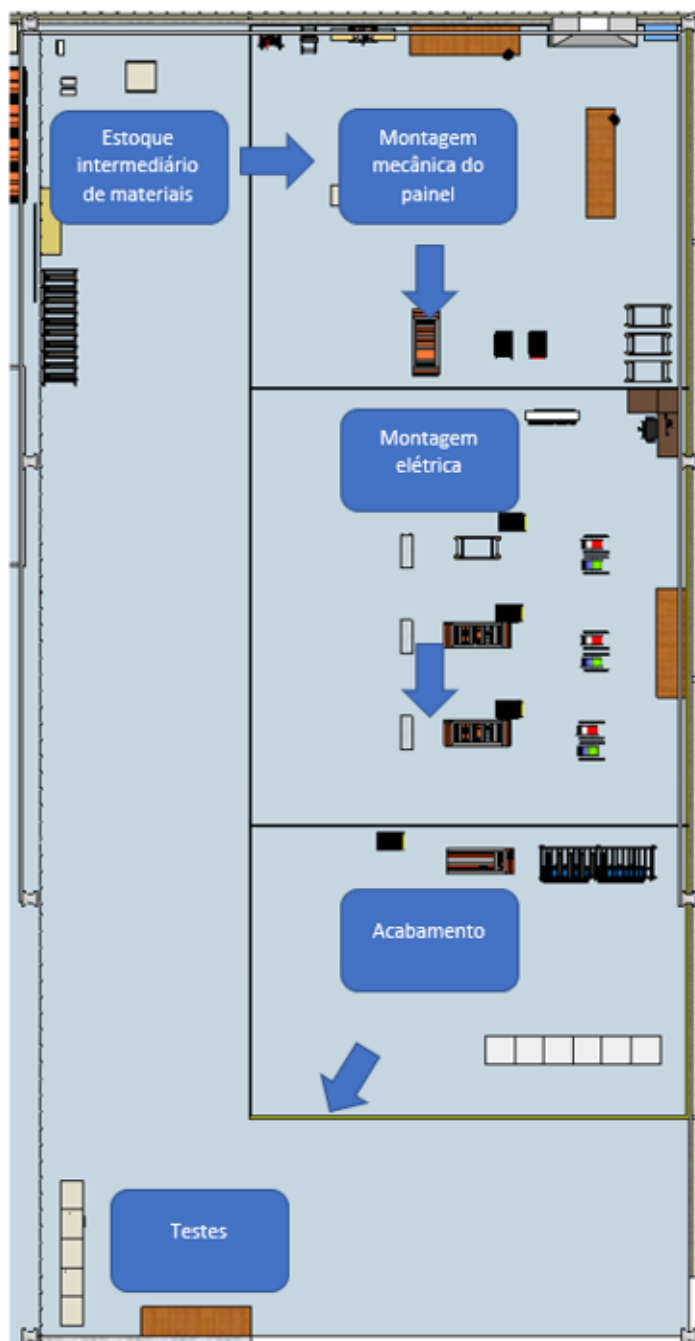
Figura 22 – Cronograma de montagem de painéis



Fonte: STW (2017)

Após todas estas etapas, os painéis são deslocados para iniciar os testes lógicos, envolvendo um programador e um eletricitista para testar a programação de processo e segurança antes da instalação no cliente. O fluxo do processo de montagem da empresa STW é demonstrado na Figura 23.

Figura 23 – Fluxo produtivo da empresa STW Soluções em Automação



Fonte: Autor (2017)

Com o período programado de 3 dias, cumprindo turnos de 10h40min de trabalho (32 h) para a etapa de montagem elétrica, estima-se que 5 h deste período são dedicadas a tarefa de corte e decapagem de cabos. O restante do período é fracionado entre as tarefas de: anilhamento dos condutores (3 horas), colocação de terminais e crimpagem dos mesmos (2 h), fixação dos cabos nos dispositivos (10 h), acabamento dos chicotes (2 h), corte e fechamento das tampas de canaletas (3 h), fixação da placa de montagem (2 h), ligação de luminárias e ventilação (3 h), identificações do painel e *check list* final (2 h).

Os períodos estimados podem ser reduzidos com a melhoria no processo de corte atual, melhorando a padronização dos cabos cortados e decapados, evitando retrabalhos e desperdícios de materiais. A seção a seguir descreve o estudo do processo de corte e decapagem realizado na empresa STW, com a finalidade de verificar a viabilidade de implantação do equipamento.

3.1.1 Processo de corte e decapagem de cabos elétricos

Com o rolo de cabos situado próximo ao painel elétrico, o colaborador da empresa mede o comprimento do cabo, iniciando na fonte do sinal e finalizando a medida no terminal do componente a ser interligado ao sistema. Em grande parte dos casos, os cabos são finalizados em bornes que facilitam a conexão dos sensores/atuadores de campo.

Para facilitar a montagem, programação do controlador e posterior manutenção do painel de automação, os sinais de entradas e saída analógicas e digitais são agrupados, tendo como consequência cabos com medidas semelhantes. Com a maior distância tomada como padrão, o colaborador executa uma serie de cortes de cabos com a mesma medida.

O corte do cabo é realizado com o auxílio de um alicate de corte, conforme demonstrado na Figura 24.

Figura 24 – Alicates para corte de cabos



Fonte: Autor (2017)

Após o corte, inicia-se a etapa de decapagem de ambas as pontas de cada cabo. A decapagem dos cabos é realizada com o auxílio de outro alicate, específico para a função. No caso da STW Soluções em Automação, utiliza-se para tal finalidade o alicate da marca Tramontina modelo Desencapador de Fios Automático, ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Alicate Desencapador de Fios Automatico



Fonte: Tramontina (2017).

O período estimado para as etapas posteriores poderia ser reduzido com a melhoria na padronização do corte dos cabos. Com a utilização de ferramentas manuais, o produto final é repassado aos próximos processos de forma irregular, como pode ser observado na Figura 26, que exhibe cabos padronizados processados pelo método atual.

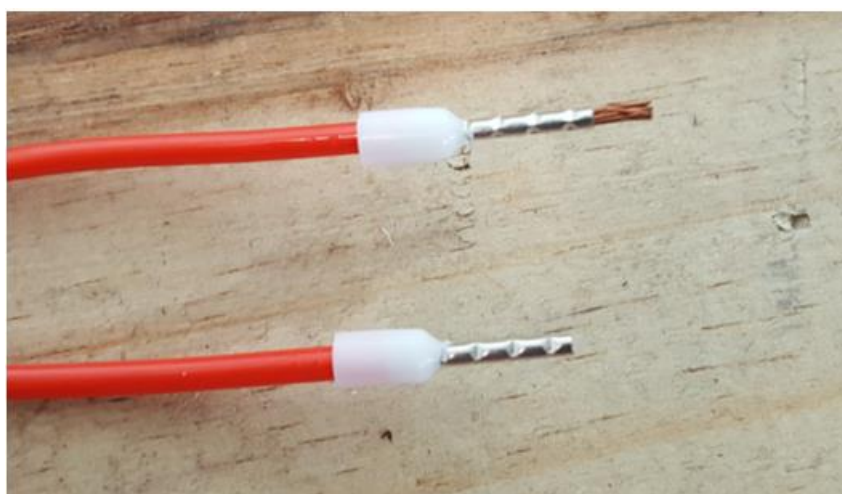
Figura 26 – Corte de cabos manuais



Fonte: Autor (2017)

Mesmo com o uso de ferramentas específicas para a função, como o alicate para decapagem, os terminais não são igualmente decapados. Em situações de pouca decapagem, o terminal grimpado sobre o condutor pode soltar. Por outro lado, em decapagem excessivas, o colaborador necessita retirar o excesso de filamentos do terminal colocado, pois este excesso não permite a entrada do terminal em algumas conexões de equipamentos. Este caso é ilustrado na Figura 27.

Figura 27 – Resultado de decapagem excessiva



Fonte: Autor (2017)

Equipamentos de corte e decapagem possibilitam a melhora em tempos não apenas na tarefa que desempenham, mas com a melhora na qualidade do produto final, onde os demais setores na montagem de painel também são afetados.

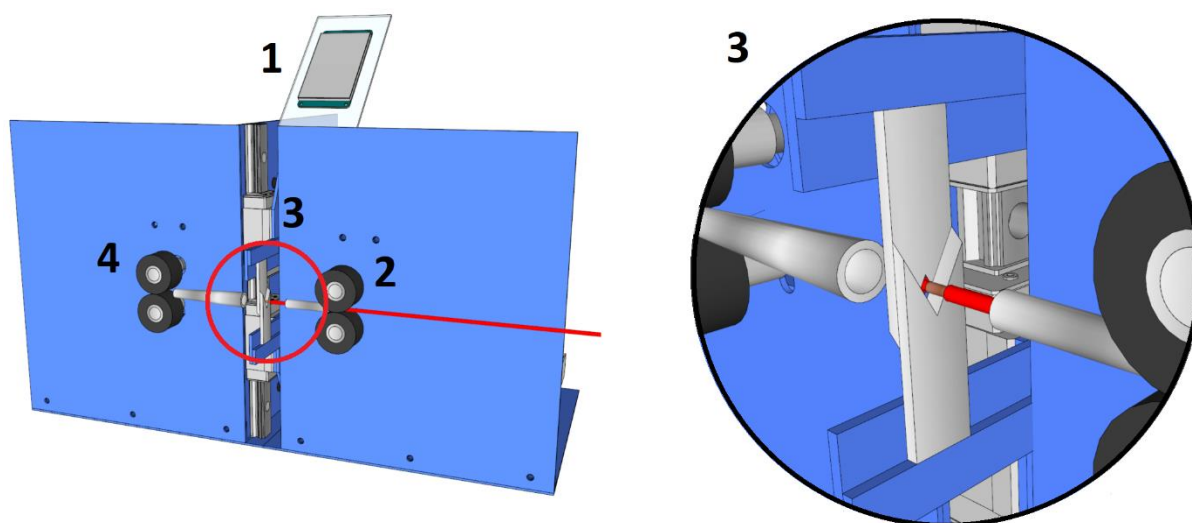
Além do resultado obtido na melhoria do produto, existe também um ganho ergonômico da substituição de uma tarefa manual por uma máquina automatizada, contribuindo para a qualidade de vida dos colaboradores e satisfação dos mesmos pela empresa estar investindo em equipamentos que contribuem em suas tarefas.

Com o objetivo de melhoria no processo de montagem de painéis de automação como um todo, o equipamento proposto está descrito em seguida.

3.2 Equipamento proposto

O equipamento desenvolvido neste trabalho tem a função de automatizar o trabalho manual de confecção de cabos com o mesmo comprimento, decapando as extremidades. O equipamento proposto é identificado na Figura 28 e pode ser visualizado após implementação na Figura 29.

Figura 28 – Equipamento proposto



Fonte: Autor (2017)

Legenda:

1. Interface para ajustes;
2. Conjunto de tração primário (entrada);
3. Conjunto de guilhotina (execução de corte e decapagem);
4. Conjunto de tração secundário (saída).

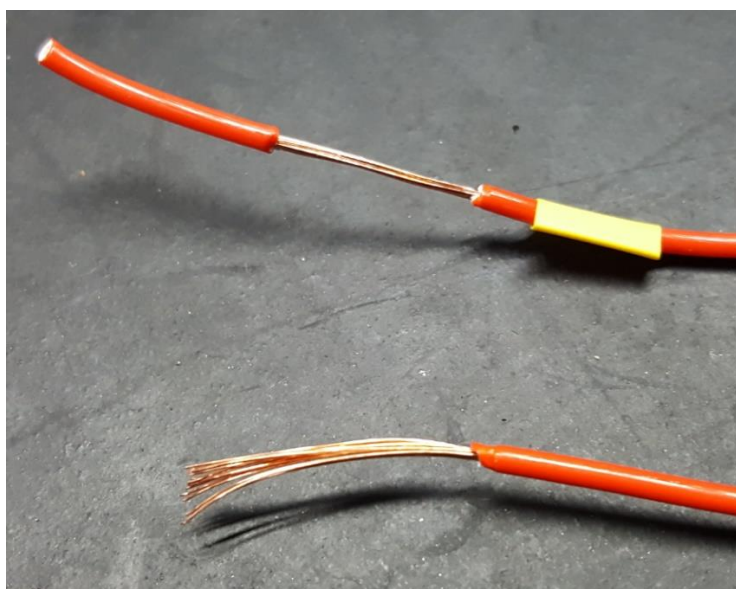
Figura 29 – Equipamento proposto

Fonte: Autor (2017)

Todos os ajustes são executados na interface de operação, situada na parte superior do equipamento. Já os conjuntos de tração têm a função de transportar o condutor enquanto a dimensão configurada estiver acima da quantidade de cabo já tracionada. Quando a condição anterior estiver satisfeita, o sistema de guilhotina é acionado, executando a tarefa de corte ou decapagem.

O equipamento desenvolvido possibilita o corte de cabos com seção de 0,5 a 2,5 mm² e efetuar a decapagem dos mesmos de duas maneiras, integral ou parcial. A decapagem integral remove a cobertura de PVC por toda a extremidade. Já a decapagem parcial, rompe a camada de PVC, afasta a capa para a extremidade do cabo, mas não a remove. Esta forma de decapagem parcial mantém todos os filamentos de cobre unidos, facilitando na inserção da identificação (processo posterior a decapagem). A diferença pode ser visualizada a seguir na Figura 30.

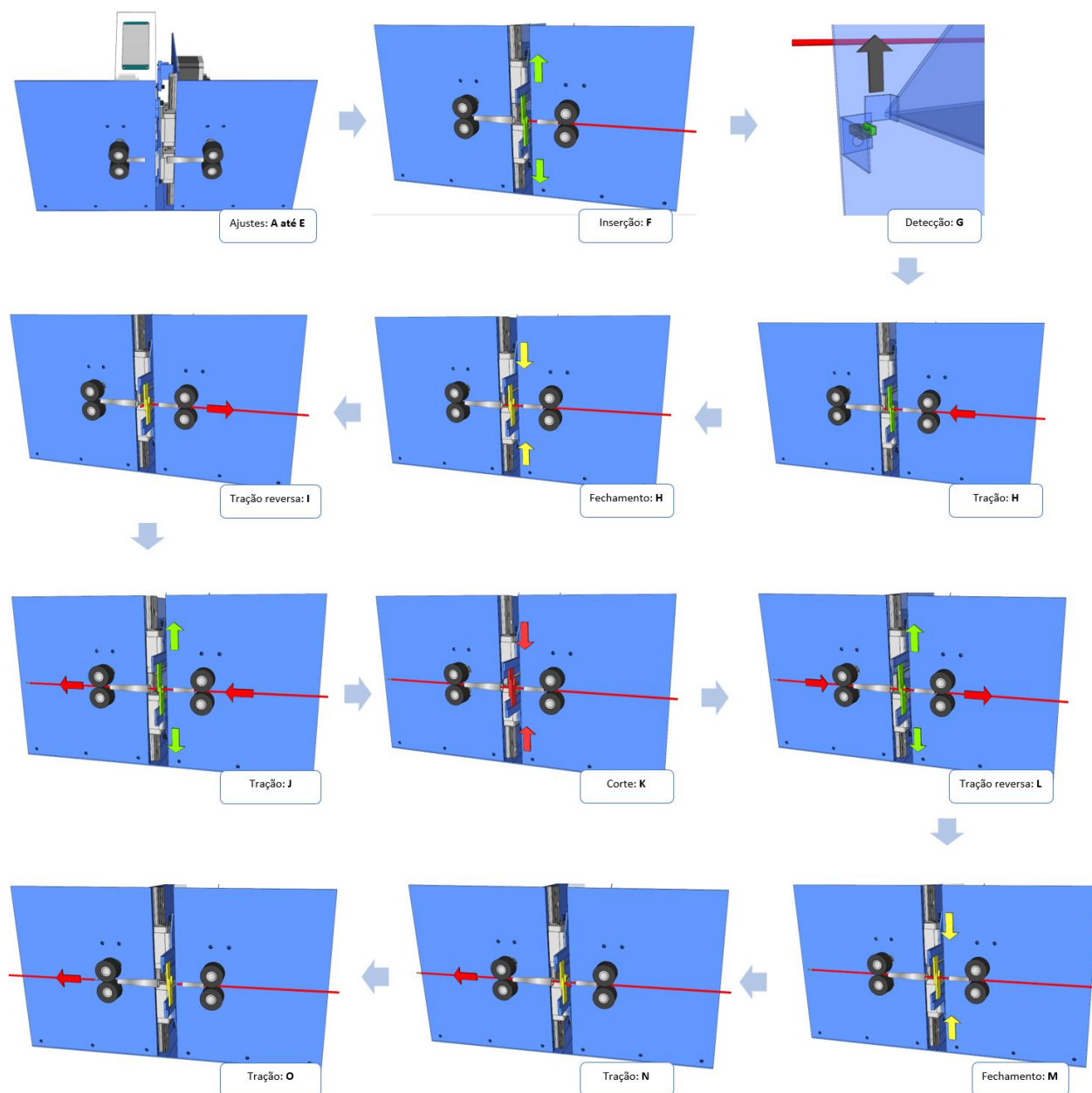
Figura 30 – Decapagem integral e parcial.



Fonte: Autor (2017)

Para fins de elucidação das etapas que o equipamento deve realizar a fim de efetuar as tarefas de corte e decapagem dos cabos, foi elaborado o fluxograma apresentado na Figura 31 a seguir.

Figura 31 – Fluxo de funcionamento do equipamento

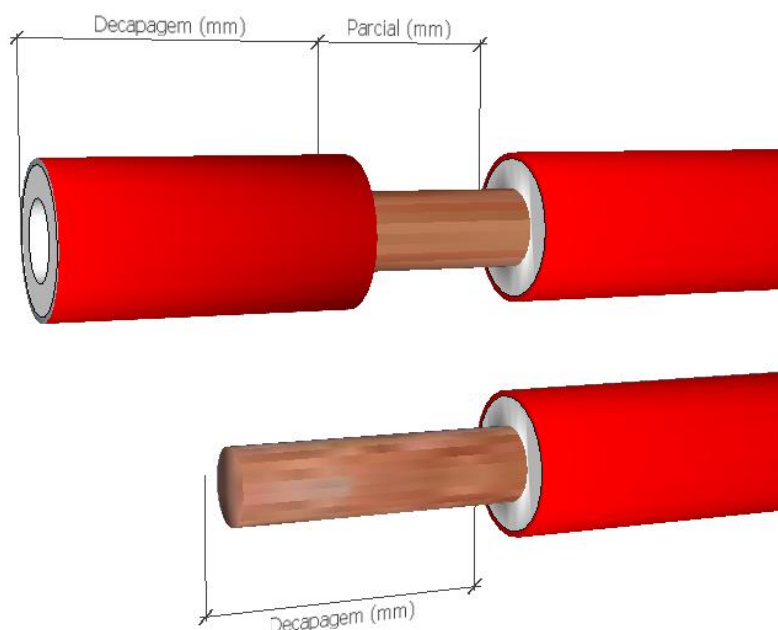


Fonte: Autor (2017)

Com base no fluxograma apresentado na Figura 31, tem-se as etapas descritas a seguir:

- Ajustar a seção do cabo a ser processado (0,5; 0,75; 1,0; 1,5 ou 2,5 mm²);
- Ajuste de decapagem total, parcial ou sem decapagem;
- Ajuste de comprimento de decapagem em milímetros, se for parcial também deve ser informada a distância de exposição do cabo desejada, conforme descrito na Figura 32.

Figura 32 – Dimensões de decapagem total ou parcial



Fonte: Autor (2017)

- d) Ajuste do comprimento do cabo, podendo ser feito de duas maneiras:
- Comprimento informado pelo usuário, em milímetros, na interface de programação;
 - Utilizando um cabo previamente cortado, faz-se a sua inserção na máquina proposta para que esta realize a medida e a utilize como base para os cortes.
- e) Ajustar a quantidade de cabos a serem cortados;
- f) Inserir a extremidade do rolo de cabo no equipamento para iniciar o corte;
- g) Detecção do cabo através do sensor foto elétrico;
- h) Com a guilhotina aberta, o cabo é tracionado até a medida de decapagem ajustada. Após este passo, a guilhotina é fechada até a medida programada para a seção de cabo selecionada no passo A deste processo;
- i) O motor que traciona o cabo é acionado em sentido reverso, decapando a extremidade conforme programação integral ou parcial;

- j) Após o processo de decapagem da primeira extremidade, a guilhotina é aberta e o cabo é tracionado até o comprimento total ajustado/lido;
- k) A guilhotina é fechada por completo para o corte do cabo e aberta novamente em seguida;
- l) Para a decapagem da segunda extremidade do cabo, os motores são ligados em sentido reverso até a medida de decapagem ajustada ser atingida;
- m) A guilhotina se fecha até a medida programada para o cabo selecionado no processo;
- n) Após, os motores são novamente acionados em sentido normal, executando a quantidade de passos necessária para executar a decapagem total/parcial;
- o) Os motores de tração instalados após a guilhotina são acionados para retirar o cabo finalizado.

3.3 Definição de componentes

As seções a seguir apresentam os componentes dimensionados para cada função, levando-se em consideração os requisitos necessários para o pleno funcionamento do equipamento proposto.

3.3.1 O motor de passo

Foram utilizados 4 motores de passo da marca Policomp, modelo 57HS112-4004A08-D21 para o sistema de transporte e dois Step-Syn modelo 103H7224-1041 para o sistema de guilhotina. Os motores do sistema de tração são bipolares e possuem torque aproximado de 30 kgf.cm, com uma corrente nominal de 4 A e ângulo de passo de $1,8^\circ \pm 5\%$ (POLICOMP, 2017).

Já os motores utilizados no sistema de corte são encontrados em algumas máquinas fotocopadoras. A folha de dados deste componente não é distribuída em forma digital, pois

conforme o fabricante, este modelo foi desenvolvido para uso exclusivo para a fabricante do equipamento e a distribuição destas informações poderia incentivar o uso de motores similares, afetando a confiabilidade do equipamento.

Analisando a forma construtiva do motor da marca Step-Syn, é possível concluir que o mesmo é bipolar, pois tem apenas 4 terminais de ligação e quando comparado as dimensões de seu bobinado com outro motor da mesma linha, conclui-se que o mesmo possui em torno de 15 kgf.cm.

Os motores que são responsáveis por tracionar o cabo são acionados em paralelo com sentido inverso. Cada um destes motores está com uma polia de aço com recortes em sua face, como mostra a Figura 33, com o intuito de evitar o deslizamento do cabo. Esta polia tem diâmetro fixo, sendo possível calcular o deslocamento de cabo a cada passo enviado ao motor, através do cálculo demonstrado na Equação 1 a seguir.

Figura 33 – Rolos de aço com ranhuras



Fonte: Autor (2017)

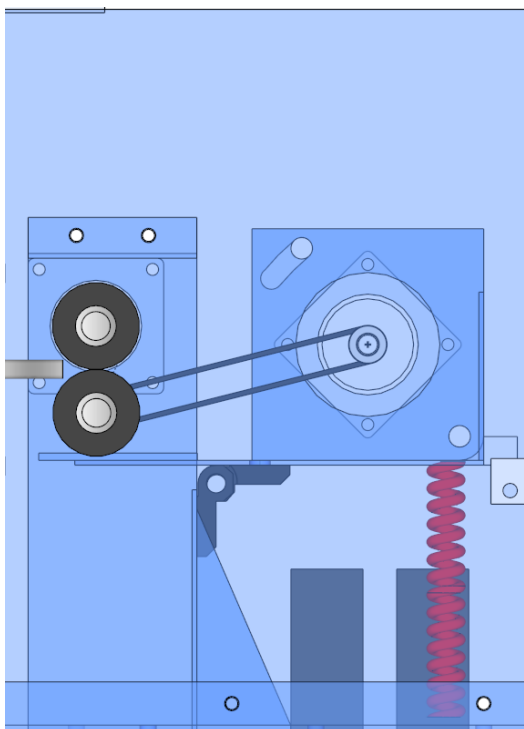
Equação 1 – Deslocamento de cabo devido a polia utilizada

$$\text{Deslocamento (mm)} = \frac{\text{Diâmetro (mm)} \times \pi}{\text{Número de passos por volta}}$$

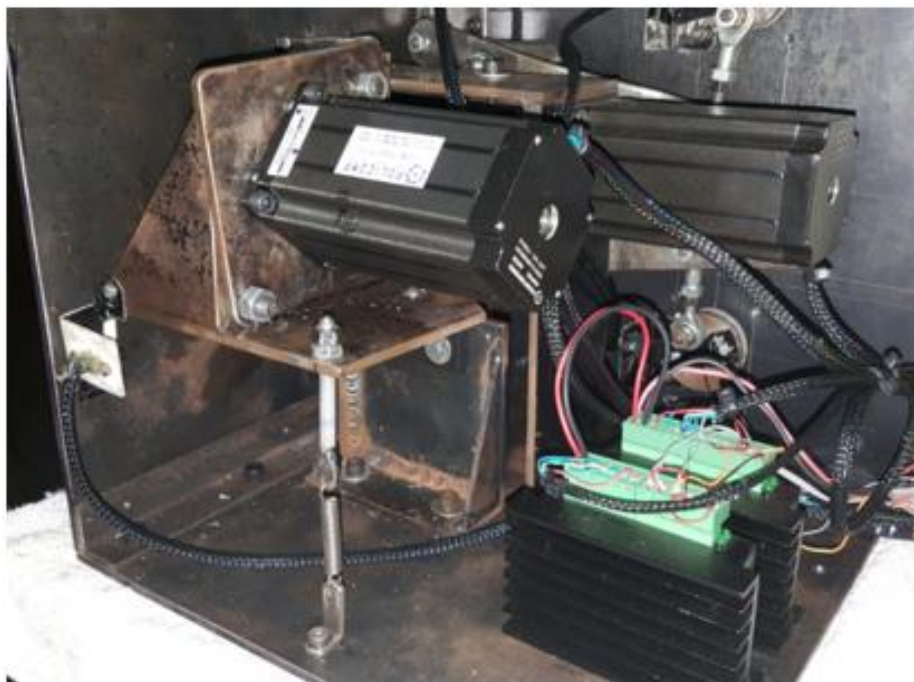
O mecanismo para tração do cabo é demonstrado na Figura 34 em uma vista frontal do equipamento. Nela, pode ser observado o sistema de mola que mantém a base articulada a uma pressão de trabalho. Esta base dá suporte ao motor responsável por movimentar a polia inferior e ao eixo de transmissão, conectados através de uma correia dentada.

O sistema implementado é demonstrado em uma vista traseira na Figura 35.

Figura 34 – Mecanismo para tração do cabo

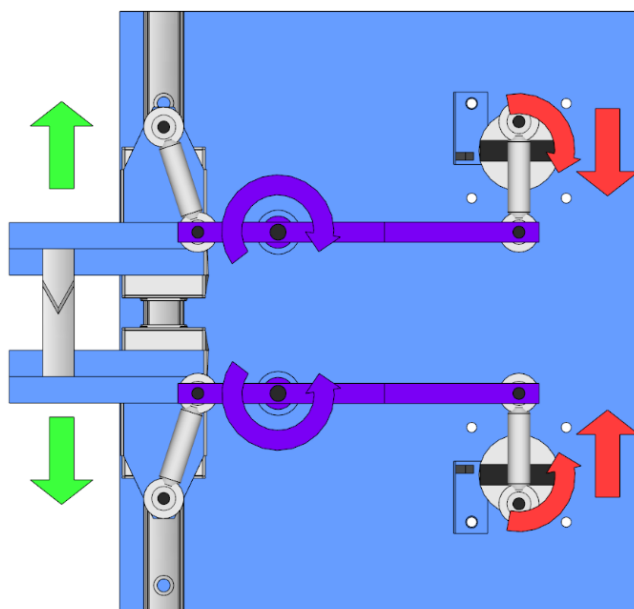


Fonte: Autor (2017)

Figura 35 – Base articulada implementada

Fonte: Autor (2017)

O mecanismo para corte do cabo ou corte do involucro do condutor é composto por duas partes iguais, que possuem uma alavanca principal movida por um excêntrico, acoplado diretamente no eixo do motor e na outra extremidade gera o movimento de um bloco que possui um lamina de corte, como demonstra a Figura 36.

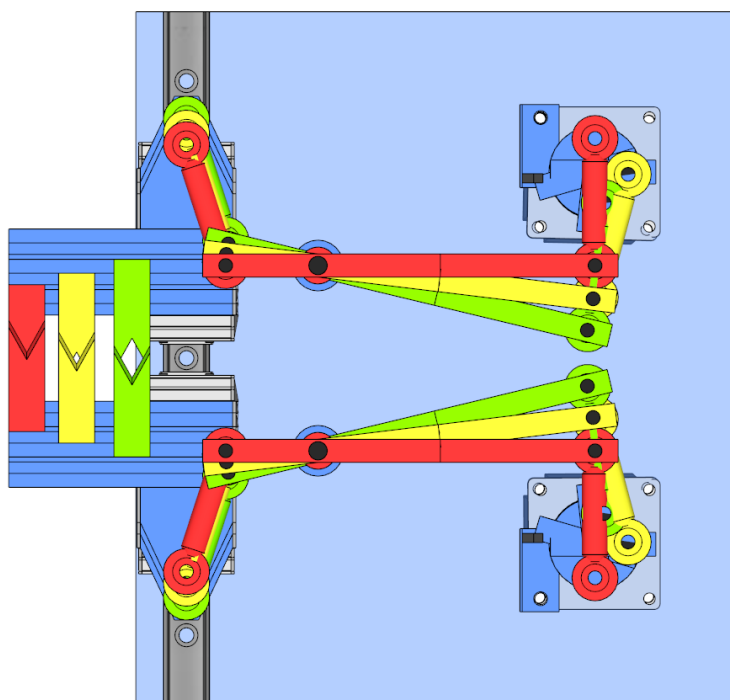
Figura 36 – Sistema de alavanca do sistema de gulhotina

Fonte: Autor (2017)

Ao posicionar os excêntricos para o centro do equipamento, a guilhotina está completamente aberta para a passagem do condutor. Ao acionar o motor para que o mesmo percorra 180° , as laminas são fechadas por completo efetuando o corte do condutor. As posições intermediárias ao ângulo de corte possibilitam ao equipamento efetuar o corte da capa protetora do cabo sem afetar o material condutor.

Na Figura 37 está demonstrado o movimento realizado por todo o mecanismo de guilhotina. Em verde, o equipamento encontra-se completamente aberto, amarelo o sistema se encontra em uma posição parcial possibilitando a decapagem e em vermelho a guilhotina está completamente fechada.

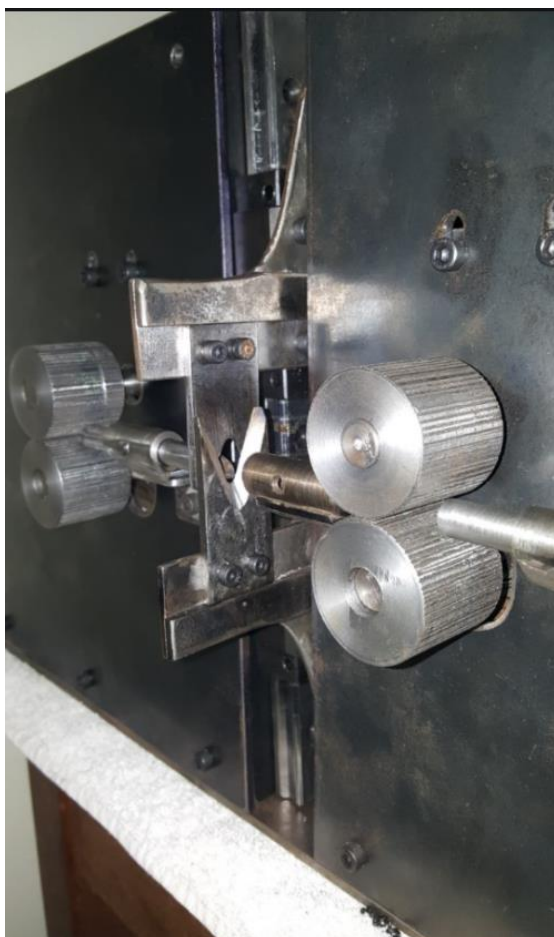
Figura 37 – Mecanismo de corte



Fonte: Autor (2017)

O sistema de guilhotina acima descrito foi implementado conforme demonstra a Figura 38.

Figura 38 – Mecanismo de corte



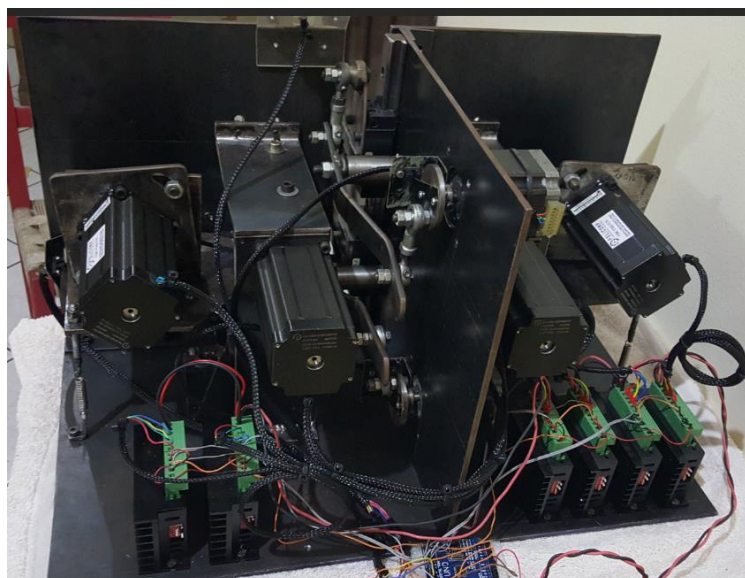
Fonte: Autor (2017)

3.3.2 Controlador de motor de passo

Para o controle de corrente e acionamento das bobinas dos motores de passo foram utilizados 6 drivers modelo TB6600, já mencionados neste documento no item 2.5.1. Quatro destes controladores foram utilizados para os sistemas de tração, ajustados em 3 A e ângulo de passo de $0,9^\circ$. Já os controladores que acionam os motores da guilhotina foram regulados em 2 A na configuração de meio passo.

A Figura 39 demonstra a instalação dos controladores no equipamento.

Figura 39 – Controladores TB6600 do equipamento



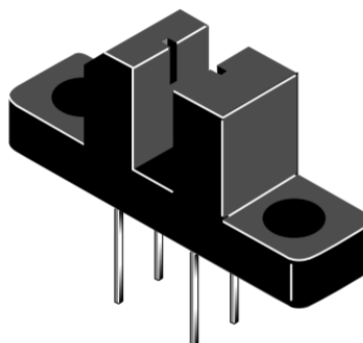
Fonte: Autor (2017)

3.3.3 O sensor óptico

Para a detecção de cabo elétrico e leitura de posição da guilhotina, são empregados sensores óticos, pois não apresentam inércia, não necessitam de peças moveis que quebrem ou desgastam como os fins de curso. Por esses motivos, esses sensores podem ser empregados em diversas aplicações na indústria.

O sensor ótico utilizado é produzido pela Fairchild, modelo H21A1, ilustrado na Figura 40. Este componente é montado com um LED (Diodo emissor de luz) infravermelho e um diodo fotossensível a esta forma de onda, montados de forma a criar uma barreira de luz.

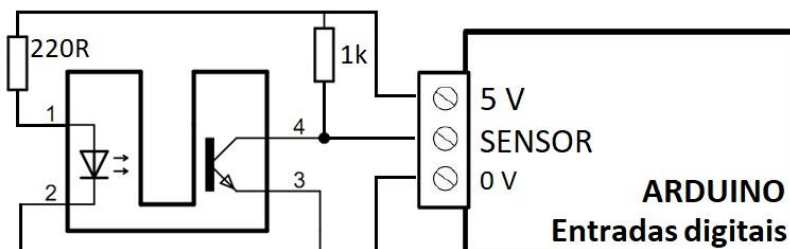
Figura 40 – Sensor ótico H21A1



Fonte: Fairchild (2001)

Para a conexão dos sensores ao Arduino, foram necessários alguns resistores com a função de limitar a corrente no LED e também deixar a entrada em nível alto caso algum objeto bloqueie a barreira de luz criada entre emissor e sensor. O diagrama utilizado para a conexão está demonstrado na Figura 41.

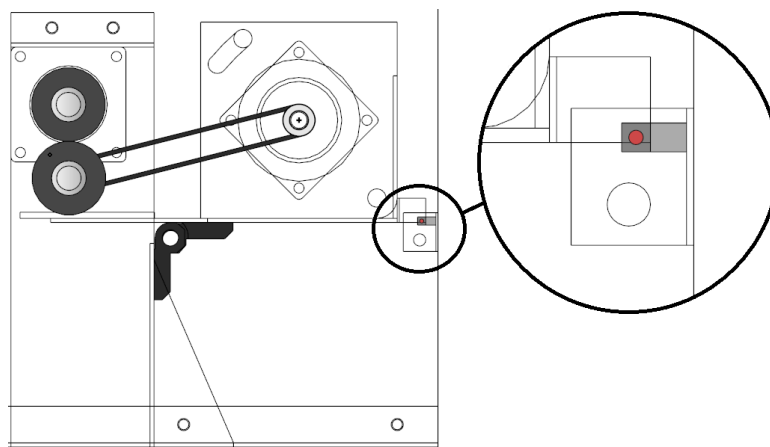
Figura 41 – Diagrama de ligação dos sensores óticos



Fonte: Autor (2017)

O sensor que possui a função de detectar a inserção do cabo no equipamento está posicionado na extremidade da base articulada, sendo que na ausência de um cabo entre os rolos tracionadores, o feixe de luz infravermelho é interrompido por uma haste de metal, como mostra a Figura 42 sinalizando o sensor em vermelho.

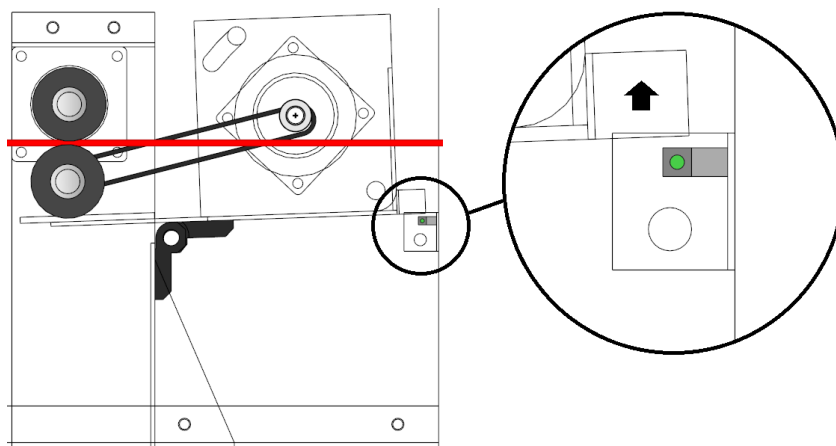
Figura 42 – Sensor detectando a ausência de condutor



Fonte: Autor (2017)

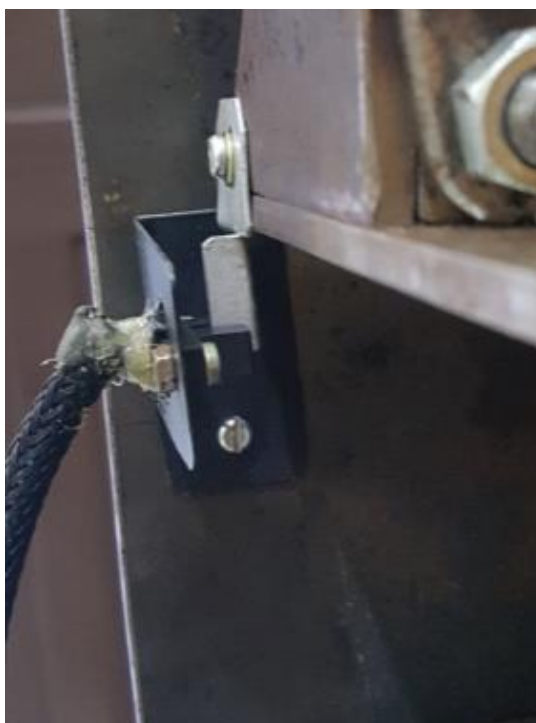
Ao inserir o condutor no equipamento, a base articulada é rotacionada no eixo da dobradiça, movendo a haste para fora do alcance sensor (Figura 43). Então, o microcontrolador recebe em sua entrada digital um sinal de nível baixo (0 V). A implementação deste sensor no equipamento pode ser visualizada na Figura 44.

Figura 43 – Sensor detectando a presença de condutor



Fonte: Autor (2017)

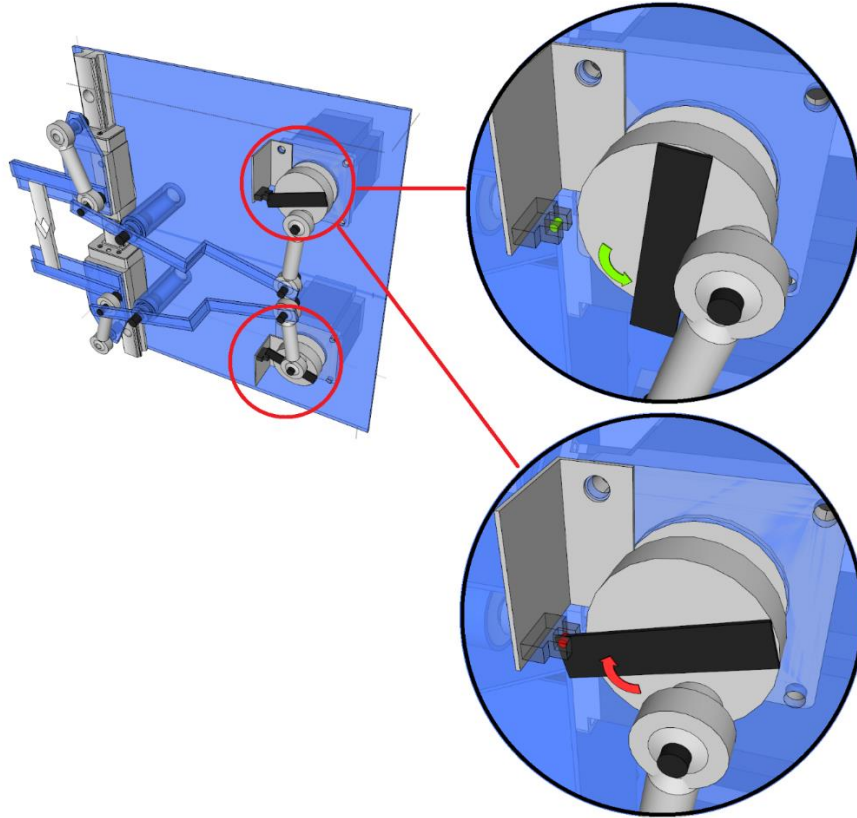
Figura 44 – Sensor de presença de condutor instalado



Fonte: Autor (2017)

Para evitar erros de posicionamento cumulativos no sistema de guilhotina, devido a falhas mecânica, um sensor de posicionamento monitora a abertura da lâmina, através de uma haste de metal fixada no motor, tornando este o ponto inicial para cada ciclo de corte ou decapagem. O posicionamento de tal sensor neste sistema está exposto na Figura 45 e a implementação é visualizada na Figura 46.

Figura 45 – Sensor de posicionamento da guilhotina



Fonte: Autor (2017)

Figura 46 – Implementação dos sensores de posicionamento da guilhotina



Fonte: Autor (2017)

3.3.4 A interface de ajuste

A interface para o usuário realizar os ajustes é da marca Nextion, modelo TFT 3.5”, conforme descrito no item 2.5.2 deste documento. O componente está fixo na parte superior do equipamento, afastado da área de movimento da lâmina, com o objetivo de proporcionar fácil visualização, em local de manuseio seguro. O local de instalação pode ser visualizado na Figura 47.

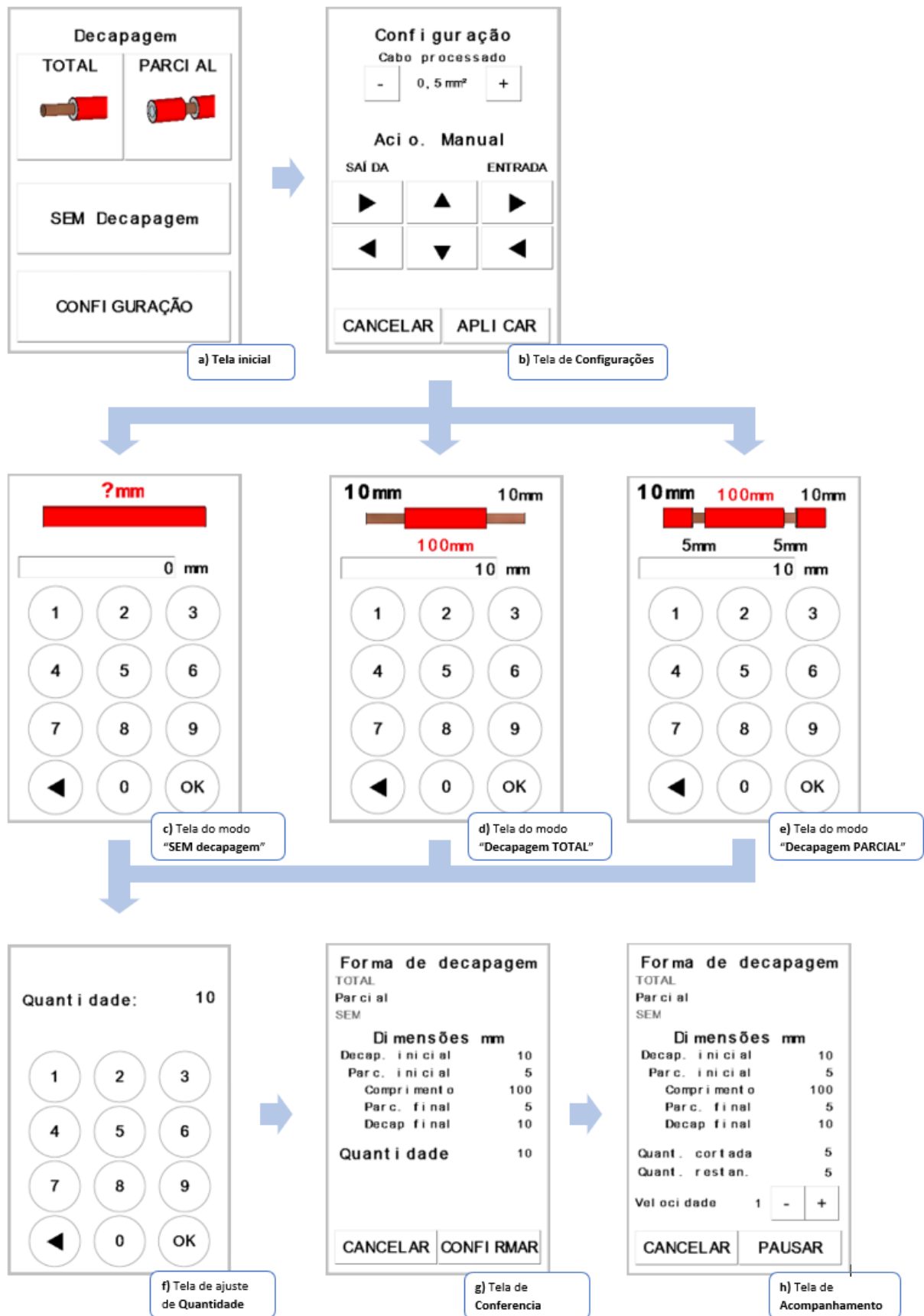
Figura 47 – Interface de operação



Fonte: Autor (2017)

As telas desenvolvidas possuem imagens que facilitam a identificação da medida que está sendo ajustada, sendo que todas as medidas serão inseridas em milímetros, padrão já adotado pela empresa. A operação da interface da máquina segue o fluxo demonstrado na Figura 48, seguida de uma breve descrição das variáveis ajustadas em cada tela.

Figura 48 – Fluxo de funcionamento da interface



Fonte: Autor (2017)

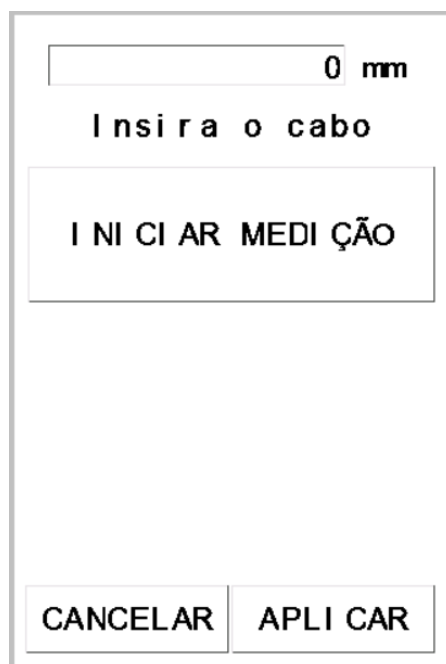
- a) Tela inicial – Nesta tela o usuário encontra três botões para seleção do modo de operação e também um botão de configuração do equipamento. Cada um destes botões redireciona o fluxo para telas específicas, de acordo com a escolha;
- b) Tela de configuração – É nesta tela que o usuário configura a sessão do cabo que será processado, para que o microcontrolador feche a guilhotina de acordo com a necessidade de decapagem. Também encontram-se nesta tela os botões de acionamento manual, que movimentam os sistemas de tração e corte individualmente, em velocidade de parametrização. Ao efetuar todas as configurações, o botão de aplicar deve ser pressionado, retornando para a tela inicial para então escolher o modo de operação;
- c) Modo de operação sem decapagem – Neste modo, o equipamento irá tracionar o cabo até a medida desejada e efetuar o corte do condutor. Portanto, é necessário apenas configurar a medida de comprimento do cabo a ser cortado.
- d) Modo de operação com decapagem total – Neste modo, o equipamento decapa as extremidades do condutor de acordo com as medidas desejadas (de 1 á 15 mm) e a medida de comprimento deve ser inserida somando toda a extensão do cabo desejado (incluindo as extremidades decapadas);
- e) Modo de operação com decapagem parcial – Neste modo de operação, primeiramente deve ser inserido o comprimento de capa a ser removida seguido do comprimento do deslocamento que a mesma deve ter (o deslocamento não deve ser maior que o comprimento da decapagem). Em seguida, a dimensão do comprimento do cabo (incluindo as extremidades decapadas) terminando com o deslocamento e comprimento da segunda decapagem, mantendo a mesma regra da primeira decapagem;
- f) Tela de inserção de quantidade – Nesta tela deve ser inserida a quantidade de cópias que o equipamento deve executar do modo programado. Ao pressionar “OK” o usuário é direcionado a uma tela para conferência dos dados.
- g) Tela de conferência – Nesta tela é exibido um resumo dos ajustes selecionados. Caso haja alguma medida que deva ser alterada, o botão de cancelar pode ser pressionado, retornando para a tela de ajustes de medidas do modo de operação selecionado. Ao

confirmar os ajustes, o equipamento inicia a operação e exibe a tela de acompanhamento;

- h) Tela de acompanhamento – Semelhante a tela de conferência, os dados ajustados anteriormente são exibidos na parte superior da tela e na inferior é possível acompanhar a quantidade de cabos já processados e a quantidade restante. Também é possível aumentar a velocidade de trabalho com o processo em andamento. O botão “PAUSAR” paralisa o processo momentaneamente, até que o mesmo seja novamente pressionado ou seja pressionado o botão “CANCELAR”, que acaba com o processo em andamento e retorna para a tela inicial.

Uma facilidade implementada para o usuário é a possibilidade de inserir um cabo com o comprimento desejado, visando determinar o comprimento a ser adotado pelo equipamento. Isso pode ser feito na tela do modo de operação desejado pressionado o campo que exibe o comprimento (destacado em vermelho no itens **c**, **d** e **e** da Figura 48). A tela direcionada é demonstrada na Figura 49.

Figura 49 – Tela para inserção de medida previamente cortada



A interface de usuário para inserção de medida. No topo, há um campo de texto contendo '0 mm'. Abaixo dele, o texto 'Insira o cabo' é exibido. Segue-se um botão grande com o texto 'INICIAR MEDIÇÃO'. Na base da interface, há dois botões: 'CANCELAR' à esquerda e 'APLICAR' à direita.

Fonte: Autor (2017)

Um campo de texto abaixo da exibição do comprimento medido informa as ações que o usuário deve tomar para efetuar a medição corretamente. Ao pressionar “APLICAR”, a tela

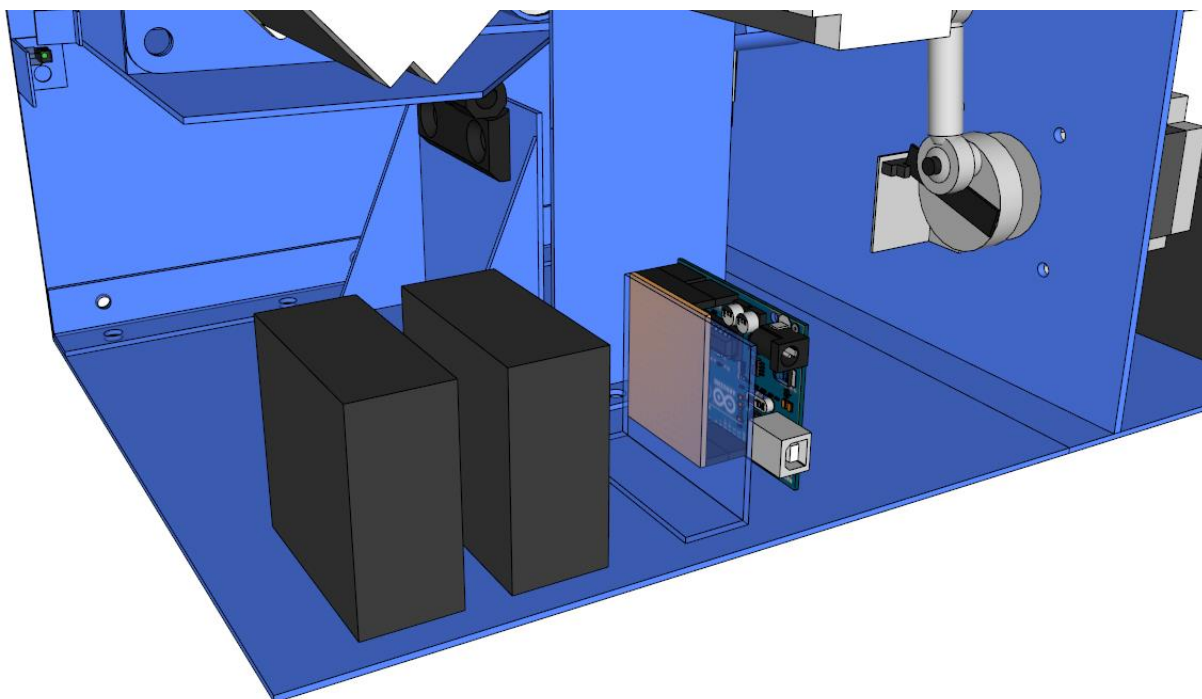
do modo de operação selecionado é novamente exibida com a dimensão de comprimento já preenchida.

3.3.5 Controlador

Para controlar todo o equipamento, optou-se pela utilização de uma placa Arduino Uno, conforme descrito no item 2.5 deste documento. As facilidades de interligação com os demais componentes necessários para o funcionamento do equipamento como interface de Nextion, controlador de motor de passo TB6600 e sensores H21A2, foram decisivas para a escolha.

A Figura 50 demonstra o local de instalação do componente no equipamento.

Figura 50 – Local de instalação do controlador Arduino no equipamento



Fonte: Autor (2017)

4 RESULTADOS

Para fins de validação do projeto, foram realizados testes práticos, com cabos de seção 0,5 mm², em cada um dos modos de operação com o intuito de validar a capacidade de repetição do equipamento, a velocidade de produção, avaliar os erros de comprimento com medidas inseridas e executadas e testar o modo de medição de cabos.

Na realização das tarefas, foram registradas as medições e tempos de execução apresentadas nas seções a seguir.

4.1 Teste de repetitividade

Foi fixada uma medida padrão de 300 mm para o comprimento do condutor em todos os modos de funcionamento. Para os modos que utilizam a decapagem, foi ajustada uma medida de 15 mm e para o modo com decapagem parcial o deslocamento parcial foi fixado em 13 mm. Cada corte programado foi repetido por 35 vezes, com o objetivo de avaliar a repetitividade do equipamento.

4.1.1 Sem decapagem

Para este teste, o equipamento foi programado para executar 35 cortes, sem decapagem nas extremidades, com o comprimento de 300 mm. O resultado pode ser visualizado na Figura 51 e dados extraídos encontram-se expostos na Tabela 4.

Figura 51 – Resultado do teste de repetitividade em modo sem decapagem



Fonte: Autor (2017)

Tabela 4 – Teste de repetitividade do modo sem decapagem

Cabo	Comprimento medido (mm)
1	296
2	297
3	296
4	296
5	296
6	296
7	297
8	295
9	296
10	298
11	297
12	296
13	297
14	297
15	297
16	297
17	296
18	297
19	297
20	297
21	296
22	296
23	296
24	296
25	296
26	297
27	297
28	296
29	297
30	296
31	296
32	296
33	296
34	296
35	296
MÉDIA (mm)	296,3
ERRO MÉDIO (%)	1,23

Fonte: Autor (2017)

4.1.2 Decapagem total

No modo de operação de decapagem total, o equipamento foi ajustado para executar decapagens de 15 mm nas extremidades e deixar o condutor com um comprimento total de 300 mm. Com a retirada das extremidades, a cobertura sobe o condutor deverá ter o comprimento de 270 mm. Os resultados do experimento podem ser observados na Figura 52 e as dimensões medidas estão dispostas na Tabela 5.

Figura 52 – Resultado do teste de repetitividade em modo sem decapagem



Fonte: Autor (2017)

Tabela 5 – Teste de repetitividade do modo com decapagem total

Cabo	Comprimento total medido (mm)	Comprimento da capa restante (mm)	Comprimento decapagem inicial medido (mm)	Comprimento decapagem final medido (mm)
1	295	269	14	12
2	295,5	269,5	12	14
3	297,5	271	12,5	14
4	298	271	13	14
5	295,5	268,5	15	12
6	295,5	269	12	14,5
7	299	272	13	14
8	297	270	12,5	14,5
9	297,5	270,5	14	13
10	298,5	269,5	15	14
11	300	270,5	15	14,5
12	299,5	270,5	14	15
13	299,5	270,5	15	14
14	298	270	13,5	14,5
15	297,5	270	14,5	13
16	298,5	269,5	14	15
17	298	269	15	14
18	296,5	269,5	14	13
19	298,5	270	14,5	14
20	297,5	269,5	14	14
21	298	270	14,5	13,5
22	299,5	270,5	14	15
23	297,5	269,5	14	14
24	298	270	14	14
25	300	270,5	14,5	15
26	298	270	14	14
27	298,5	270	14,5	14
28	297	269	13	15
29	300	272	13	15
30	298	270	14	14
31	298,5	271	13,5	14
32	298,5	271	13	14,5
33	297,5	270	13,5	14
34	297,5	269	14	14,5
35	298	270	14	14
MÉDIA (mm)	297,9	270,0	13,8	14,0
ERRO MÉDIO (%)	0,70	0,02	7,81	6,38

Fonte: Autor (2017)

4.1.3 Decapagem parcial

Para o modo de operação para decapagem parcial, o equipamento foi configurado para executar decapagens de 15 mm nas extremidades sem remover as capas por completo, deixando as mesmas sobre o condutor, mas as afastando em 13 mm, restando no condutor uma proteção de 270 mm. Os resultados do experimento podem ser observados na Figura 53 e as dimensões medidas estão dispostas na Tabela 6.

Figura 53 – Resultado do teste de repetitividade em modo sem decapagem



Fonte: Autor (2017)

Tabela 6 – Teste de repetitividade do modo decapagem parcial

Cabo	Comprimento total medido (mm)	Comprimento da capa restante (mm)	Comprimento decapagem inicial medido (mm)	Comprimento deslocamento inicial medido (mm)	Comprimento decapagem final medido (mm)	Comprimento deslocamento final medido (mm)
1	301	271	15	10	15	10
2	301,5	272	15	10	14,5	9
3	301	271,5	15	10	14,5	10
4	298,5	269	15	11	14,5	10
5	301	271,5	15	10	14,5	9,5
6	299,5	271	14	10,5	14,5	10
7	301	271	15	11	15	9,5
8	298	270	14	10	14	9,5
9	300	271	14	9,5	15	9,5
10	301,5	272	15	10	14,5	10
11	299	270	14	9,5	15	10
12	300	270	15	10	15	10
13	299,5	270	14,5	10	15	10
14	301,5	272	14,5	9	15	5
15	298,5	270	14	10	14,5	10
16	299	270	15	8	14	9
17	299,5	270	14,5	10	15	9,5
18	300	270	15	10,5	15	10
19	299,5	270,5	14,5	9	14,5	8
20	299	270	14,5	9	14,5	10
21	299,5	270	14,5	10	15	11
22	298,5	270	14,5	10	14	9
23	298,5	269,5	14,5	10	14,5	9,5
24	299	270	14,5	9	14,5	8,5
25	297,5	269	14	9	14,5	9
26	299,5	271	14	9	14,5	9
27	298	269	15	9	14	8
28	300	271	15	10	14	9
29	298	270	14	10,5	14	9
30	299	270	14,5	10	14,5	10
31	299,4	270	14,4	10	15	9
32	299	270	15	8,5	14	8
33	299,5	270	15	10	14,5	10
34	298,5	269,5	14,5	10	14,5	10
35	299	270	15	10	14	10
MÉDIA (mm)	299,5	270,3	14,6	9,8	14,5	9,4
ERRO MÉDIO (%)	0,18	0,12	2,69	24,84	3,05	28,02

Fonte: Autor (2017)

4.2 Teste de velocidade

Ao final dos testes de repetitividade, foram feitos testes de operação do equipamento em diferentes velocidades, utilizando as mesmas medidas anteriormente citadas, mas com apenas 5 repetições em cada modo de operação. Os resultados obtidos são demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Teste de desempenho em velocidades variadas

Modo de operação	Quantidade de cabos	Velocidade selecionada	Tempo de execução (s)	Velocidade (mm/s)
Sem decapagem	5	1	42	35,71
Decapagem total	5	1	67	22,38
Decapagem parcial	5	1	60	26,67
Sem decapagem	5	5	15	100
Decapagem total	5	5	28	53,57
Decapagem parcial	5	5	29	51,72
Sem decapagem	5	7	13	115,38
Decapagem total	5	7	19	78,95
Decapagem parcial	5	7	20	75

Fonte: Autor (2017)

O aumento de velocidade do equipamento não afetou o padrão de cortes se comparado a velocidades baixas. Como pode ser visualizado nas Tabelas 4, 5 e 6 em que as últimas 5 medições foram feitas a partir dos resultados deste teste.

4.3 Teste de tomada de medida

Este teste tem como propósito verificar a confiabilidade do equipamento ao medir o comprimento de um cabo, para posteriormente tornar esta dimensão o comprimento base de uma série de cabos. Para tanto, foi cortado um condutor com o comprimento de 1000 mm, este condutor foi inserido no equipamento 35 vezes para a tomada de medida. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado da tomada de medidas

Cabo	Comprimento medido (mm)
1	999
2	997
3	997
4	998
5	999
6	999
7	1000
8	1000
9	999
10	1001
11	1003
12	1003
13	1000
14	995
15	997
16	997
17	997
18	997
19	995
20	995
21	995
22	994
23	995
24	995
25	993
26	995
27	994
28	994
29	995
30	997
31	995
32	995
33	999
34	996
35	996
MÉDIA (mm)	997,0
ERRO MÉDIO (%)	0,30

Fonte: Autor (2017)

4.1 Discussão dos resultados obtidos

A partir dos dados apresentados, pode ser observada uma leve variação nos comprimentos ajustados e efetivamente executados, principalmente quando o equipamento é posto em modos com decapagem. Este fato se deve à falta de tração dos rolos tracionadores no instante da retirada da capa de PVC.

No entanto, a pequena variação de medidas no comprimento total do condutor e a regularidade de decapagens, irá melhorar a qualidade do produto final na montagem de painéis, demonstrando que o equipamento atingiu seu objetivo.

Também é possível concluir que o equipamento proporciona uma medição de cabo satisfatória para a função, sendo possível inserir um condutor já medido no painel, e executar o número de cópias desejadas com o modo de decapagem selecionado.

4.2 Outros resultados

O equipamento foi testado também com condutores de seção 2,5 mm², obtendo resultados muito semelhantes aos encontrados em condutores 0,5 mm², se mostrando eficiente na tração e corte do condutor de acordo a medida programada.

No entanto, para modos de funcionamento que utilizam de decapagens, a divergência de valores anteriormente observada aumentou, devido ao aumento de espessura da capa protetora e à falta de tração dos rolos.

O equipamento foi automatizado com um controlador Arduino, conectado a uma série de periféricos com valores relativamente baixos em relação aos equipamentos comerciais demonstrados neste documento. Os motores de passo do sistema de tração foram os que mais impactaram no custo total, como pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Custos do equipamento

Componentes	Valor
Arduino UNO R3 + Cabo USB	R\$ 79,00
Driver para motor de passo TB6600	R\$ 480,00
Motor de passo Policomp 57HS112-4004A08-D21	R\$ 1200,00
Motor de passo Step-Syn 103H7224-1041	R\$ 50,00
Polias GT2 20 dentes 8 mm de furo	R\$ 40,00
Acoplamento flexível de alumínio 8x10 mm	R\$ 21,00
Correia GT2 fechada 280 mm	R\$ 30,00
Interface Nextion TFT 3,5”	R\$ 234,00
Sensor ótico H21A1	R\$ 5,00
Chapa de aço de 4 mm de espessura	R\$ 150,00
Parafusos e arruelas	R\$ 10,00
Rolamentos	R\$ 50,00
Usinagem e soldas	R\$ 400,00
Pintura	R\$ 65,00
Montagem	R\$ 250,00
Horas de desenvolvimento e projeto	R\$ 2000,00
TOTAL	R\$ 5065,00

Fonte: Autor (2017)

Na Tabela 10 está demonstrando um comparativo dos equipamentos comerciais e o equipamento projetado.

Tabela 10 – Comparativo de valores de equipamentos

Equipamento	Valor
Máquina de corte Phoenix Cutfox 10	R\$ 18.637,27
Máquina de decapagem Phoenix WF 1000	R\$ 20.829,87
Máquina de corte Weidmüller Cutfix 8	R\$ 13.536,00
Máquina de decapagem Weidmüller Powerstripper 6,0	R\$ 8.640,00
Equipamento montado	R\$ 5065,00

Fonte: Autor (2017)

Analisando os valores expostos e confrontando com os orçamentos dos equipamentos comerciais atuais (Anexo I e Anexo II), é possível concluir que o equipamento montado neste trabalho é de baixo custo exercendo ainda a função de dois equipamentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um equipamento automatizado para corte e decapagem de condutores, integrando diferentes áreas, como mecânica, eletrônica e software, visando melhorar o processo de montagem de painéis de automação como um todo, diminuindo tempos, reduzindo desperdícios, padronizando o processo e produto final, impactando em todas as etapas de montagem, direta e indiretamente.

No projeto inicial do presente trabalho, os sistemas de tração foram idealizados com uma polia revestida com borracha acoplada diretamente no eixo do motor e outra polia, sem tração motora, que seria tensionada por uma mola para pressionar o condutor sobre o rolo tracionado. Porém, na montagem de um protótipo, o sistema se mostrou ineficiente, pois no instante que o condutor tocava o centro das duas polias, os rolos se afastavam, a polia sem tração parava e o condutor não era recolhido para o centro das polias.

Por este motivo alterou-se o projeto para que os dois rolos fossem tracionados, então no instante que o condutor toca as duas polias, ambas conduzem o mesmo de forma a passar no centro do sistema, como pode ser observado no desenvolvimento deste documento.

Como sugestão para trabalhos futuros, algumas melhorias podem ser implementadas:

- Busca de material de borracha para cobertura dos rolos de tração com melhor aderência no material tracionado;
- Teste do equipamento seguindo orientações da NBR 10012 – Sistemas de gestão de medição;
- Acesso externo ao sistema que dá pressão nas molas do conjunto de tração;

- Implementar um sistema para desbobinagem de cabo, retirando esta função do sistema de tração de entrada;
- Inserção de dados de comprimentos e quantidades por arquivos CSV.
- Desenvolvimento de uma proteção mecânica para proteger os componentes internos;
- Incorporar no projeto uma fonte 24 V 20 A.

Para o desenvolvimento do projeto até a montagem final do equipamento, diversos desafios surgiram e foram enfrentados e vencidos com o auxílio de toda carga teórica e práticas adquiridos no curso de Engenharia de Controle e Automação.

Erros de projeto, montagem mecânica e lógica de programação passavam por análise crítica, primeiramente em busca da causa para posterior correção. Nestes casos as disciplinas de Física, Cálculo, Álgebra, Desenho técnico, Circuitos, Microprocessadores e Automação, foram essenciais para a execução do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **What is Arduino?** 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 18 abr. 2016.
- ARAUJO J., Antônio Pereira, CHAGAS, Christiano Vasconcelos das. **Uma rápida análise sobre automação industrial**. 2003. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO05.pdf>>. Acessado em: 13 de maio de 2017.
- ARDUINO E CIA. **Controle de motor de passo bipolar com o driver A4988**. 2015. Disponível em: <<http://www.arduinoecia.com.br/2015/03/controle-motor-de-passo-bipolar-driver-A4988.html>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.
- BRITES, Felipe Gonçalves, SANTOS, Vinicius Puga de Almeida. **Motor de Passo**. 2008. Disponível em: <<https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>>. Acessado em 21 de maio de 2016.
- CONSTANDINOU, Timothy G. **Stepper Motors Uncovered (1)**. 2003. Disponível em: <<https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/4319/1/e03b036.pdf>>. Acessado em 14 de maio de 2017.
- DFROBOT. **TB6600 stepper motor driver user guide**. Versão 1.4. Disponível em: <https://raw.githubusercontent.com/Arduinolibrary/TB6600_Stepper_Motor_Driver/master/TB6600%20User%20Guide%20V1.2.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.
- DFROBOT. **TB6600 stepper motor driver**. Disponível em: <<https://www.dfrobot.com/product-1547.html>>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.
- FAIRCHILD. **Phototransistor optical interrupter switch**. 2001. Disponível em: <<http://www.robotstorehk.com/h21a1.pdf>>. Acesso em: 11 de novembro de 2017.
- GONÇALVES, José Ernesto Lima. **As empresas são grandes coleções de processos**. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v40n1/v40n1a02.pdf>>. Acesso em: 13 de maio de 2017.

GRIFFITH, Louis. **Automatic wire cutting machine**. 1984. Disponível em: <https://patentscope.wipo.int/search/docservicepdf_pct/id000000000852364/PAMPH/WO1984004997.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2017

ITEAD. **Nextion enhanced NX4832K035**. 2017. Disponível em: <<https://www.itead.cc/display/nextion-nx4832k035.html>>. Acessado em: 22 de maio de 2017.

KRUGER, Bertus. **Arduino CNC Shield - 100% GRBL Compatable**. 2015. Disponível em: <<http://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield/>>. Acesso em: 22 de maio de 2017.

LUZ, Maria de Lourdes Santiago, SÁ, Carlos Eduardo Monteiro de. **Elaboração de um estudo de sistema de PPCP na manufatura de painéis elétricos sob encomenda**: Estudo de caso. 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1183.pdf>>. Acesso em: 27 de maio de 2017.

MECAWEB. **Sensores Ópticos**. Disponível em: <http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_sensor_optico>. Acesso em 16 de dezembro de 2017.

MICROCHIP. **Stepping Motors Fundamentals**. 2004. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00907a.pdf>>. Acesso em: 13 de maio de 2016.

MONTEIRO, Marcus Vinicius. **Porque automatizar?**. 2012. Disponível em: <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32159190/Porque_Automatizar_-_Marcus_Vinicius_Monteiro.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1494696360&Signature=ZRioTmhiY9ujgOeSn7ySJ5o4XGo%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPORQUEAUTOMATIZAR_umasingtesedosbeneficio.pdf>. Acessado em 13 de maio de 2017.

OPENHARDWARE. **Nextion LCD Touchscreen Tutorial for Arduino**. Disponível em: <<http://openhardware.gridshield.net/home/nextion-lcd-getting-started-for-arduino>>. Acesso em: 22 de maio de 2017.

POLICOMP. **57hS112-4004a08-d21-01**. Disponível em: <https://www.policompcomponentes.com.br/Content/uploads/files/DATASHEET_MOTOR%20DE%20PASSO_NEMA%2023_30KGF.CM_57hs112-4004a08-d21.pdf>. Acessa em: 25 de outubro de 2017.

PHOENIX Contact. **Cutfox 10**. 2017. Disponível em: <<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/br/>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

PHOENIX Contact. **Wf 1000**. 2017. Disponível em: <<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/br/>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

ROCKWELL Automatio. **Sistema CompactLogix**. 2012. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1769-sg001_pt-p.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2017.

ROBOCORE. **Arduino UNO R3 - Original da Itália.** 2016. Disponível em: <https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_LojaVirtual&prod=120>. Acesso em: 18 abr. 2016.

SILVEIRA, Cristiano Bertulicci. **Sensores Ópticos: Como Funcionam?** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensores-opticos/>>. Acessado em: 16 de dezembro de 2017.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações.** 4. ed. São Paulo: Erica, 2007.

TOSHIBA. **Tb6600hg.** 2016. Disponível em: <https://www.zyltech.com/uploads/1/0/1/0/101081916/tb6600hg_datasheet_en_20160610__1_.pdf>. Acessado em: 25 de outubro de 2017.

WEIDMÜLLER. **Cutfix 8.** 2017. Disponível em: <<http://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=en&ObjectID=9023100000>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

WEIDMÜLLER. **Powerstripper 6,0.** 2017. Disponível em: <<http://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=en&ObjectID=9028510000>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

WENDLING, Marcelo. **Sensores.** Ver. 2. 2010. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em: 18 de abril de 2016.

ANEXO I

QTD	Descrição Técnica Produto	NBM	Preço R\$	Impostos	Total Sem IPI	Total + Impostos
1 (pcs)	1206829 - CUTFOX 10 MAQ.P/CORTE DE CABOS-MANUAL Disponibilidade: 1(pcs) em 1 dia	84678900	17.256,73	IPI: 8% 1.380,54 ICMS: 4%	17.256,73	18.637,27 1.380,54
1 (pcs)	1212149 - WF 1000 MAQ.P/DECAPAR CABOS - MANUAL Disponibilidade: 1(pcs) em 20 dias (MADE TO ORDER)**	84678900	19.286,92	IPI: 8% 1.542,95 ICMS: 4%	19.286,92	20.829,87 1.542,95
2				TOTAL:	36.543,65	39.467,14

ANEXO II

Máq. Automática para cortar cabo código 9023100000:

<http://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=en&ObjectID=9023100000>



Valor de venda: R\$ 13.536,00 ou 12 x R\$ 1.128,00 (sem juros). IPI = 0%

Valor do comodato: R\$ 270.000,00 (sem IPI)

Máq. Automática para decapar cabo código 9028510000:

<http://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=en&ObjectID=9028510000>



Valor de venda: R\$ 8.640,00 ou 12 x R\$ 720,00 (sem juros). IPI = 0%

Valor do comodato: R\$ 172.800,00 (sem IPI)